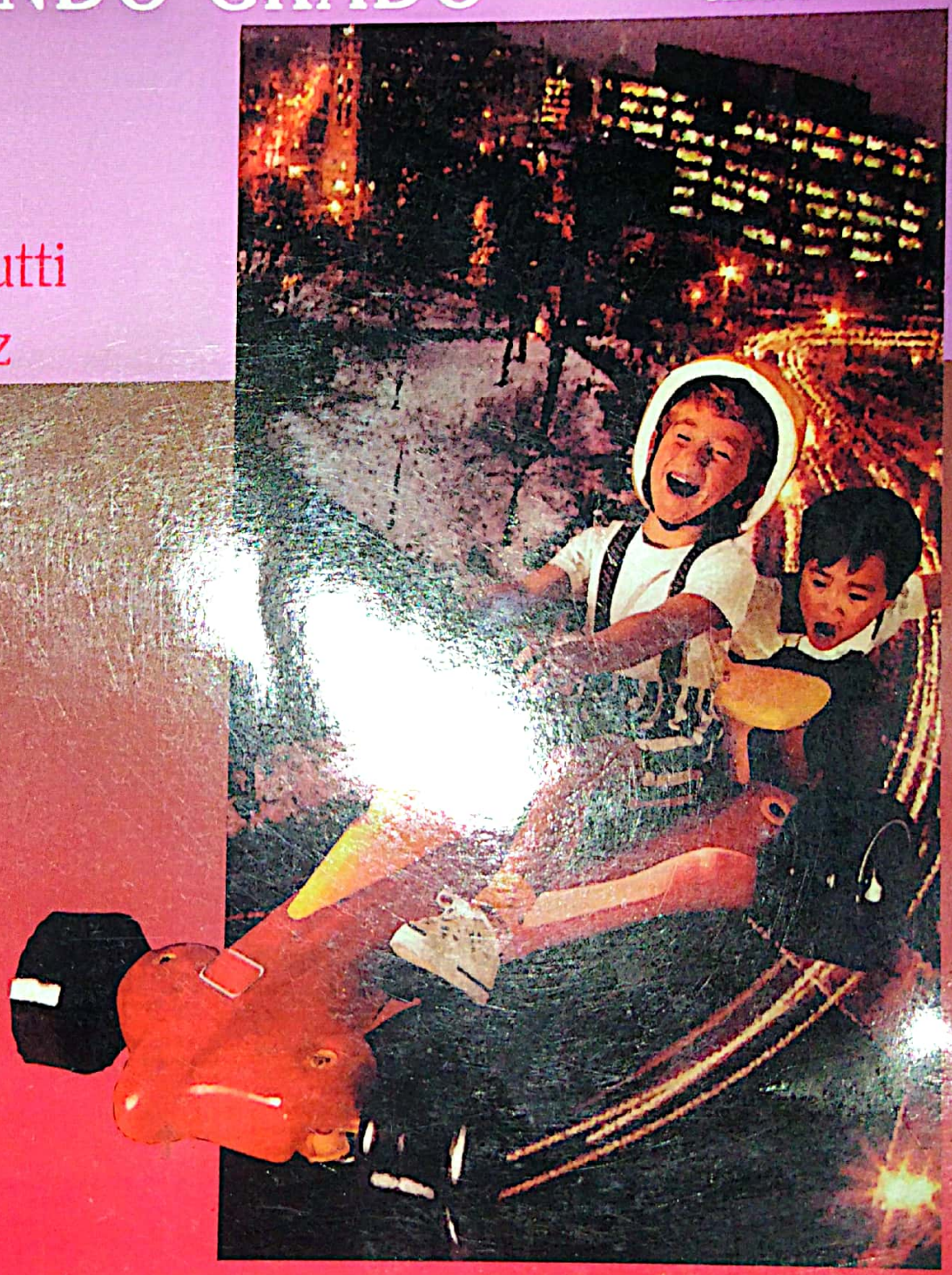
Física 1

SEGUNDO GRADO

DE ACUERDO CON LOS Modernización educativa PROGRAMAS OFICIALES 1994

SECUNDARIA

- Tambutti
- Muñoz



LIMUSA
NORIEGA EDITORES

Escaneado con CamScanner

NUEVAS TECNICAS EDUCATIVAS S.A.
NUTESA
Av. República de Panamá 2197 - Lima 13

FÍSICA
1

Segundo grado

Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner

FÍSICA
1

Segundo grado

ENSEÑANZA BÁSICA

Romilio Tambutti
Catedrático de la Facultad de Ciencias de la UNAM

Héctor Muñoz

LIMUSA
NORIEGA EDITORES
MÉXICO • España • Venezuela • Colombia

Escaneado con CamScanner

La presentación y disposición en conjunto de

FÍSICA 1 (SEGUNDO GRADO)

son propiedad del editor. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito del editor.

Derechos reservados:

© 1994, EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V.
GRUPO NORIEGA EDITORES
Balderas 95, México, D.F.
C.P. 06040
☎ 521-21-05
🖷 512-29-03

CANIEM Núm. 121

Primera reimpresión

Hecho en México
ISBN 968-18-4968-X

Impreso en Litografía Magnograf, s.a. de c.v. • 1013762 000 09 94 552

Escaneado con CamScanner

PRESENTACIÓN

Iniciamos aquí el estudio sistemático de la Física, una ciencia cuyos orígenes se remontan a los umbrales de la civilización humana.

Los restos arqueológicos y las demás fuentes que nos permiten conocer aspectos de la vida y obra de pueblos que vivieron hace varios miles de años son mudos testigos de conocimientos científicos de gran envergadura. El quehacer diario, la continua interacción de cada persona con su medio ambiente físico, fueron construyendo el conocimiento acerca de las leyes del mundo natural. Un conocimiento inicialmente muy rudimentario, pero que poco a poco se ha ido refinando, complementando, enriqueciendo, perfeccionando.

Hoy, la Física es una de las disciplinas científicas más sólidamente estructuradas y con un ritmo de desarrollo asombrosamente rápido.

Ha penetrado en el mundo del átomo y de las partículas que lo componen, acercándose casi a los límites de lo más pequeño.

Y en su estudio de los cuerpos celestes, ha escapado a las fronteras del planeta, llegando a formarse un cuadro del Universo en su conjunto. Escudriñando en el tiempo, con ayuda de modelos teóricos y evidencias proporcionadas por la observación, ha plasmado una imagen de lo que parece ser el momento del nacimiento de todo el Universo: la "gran explosión".

En las páginas de este libro, irás descubriendo la Física en los objetos y procesos del mundo que te rodea. Conocerás algunos de los grandes físicos que ha tenido la Humanidad y podrás entrar en contacto con el "hacer ciencia", es decir, con aquellos procesos que van construyendo el conocimiento científico.

Escaneado con CamScanner

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

UNIDAD 1. INTRODUCCION A LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y SU MEDICIÓN

Un episodio en la historia de la Física 11
Teoría y experimentación en el desarrollo del conocimiento científico 13
El concepto de modelo 14
Un método de trabajo muy útil 14
Varios significados para una misma palabra 15
Un mismo objeto puede ser representado por diferentes modelos 16
¿Cómo trabajar con un modelo? 17
Un ejemplo concreto 17
Mediciones, magnitudes, unidades 20
La medición en el desarrollo del conocimiento científico 20
El concepto de "medición" 21
La larga historia de la unidad de longitud 22
La unidad de tiempo 24
La unidad de masa 27
El agua como estándar en las definiciones de unidades de medida 29
La notación científica 30
Las potencias de diez 30
Operaciones con potencias de diez 31
La notación científica 35
Operaciones con números grandes 36
Las potencias de diez de exponente negativo 38
El sistema internacional de unidades 43
Unidades fundamentales 43
Múltiplos y submúltiplos de las unidades fundamentales 44
Unidades derivadas 46
Normas y recomendaciones acerca de la escritura de unidades 47
Empleo de unidades que no pertenecen al SI 48
Manos a la obra 50
Un primer paso 50
¿Mientras más exacto, mejor? 53
Precisión posible y precisión deseable
Con qué precisión trabajar
Transformaciones de unidades 56
Cambio de unidades 57
La velocidad de lectura en voz alta 59
Estimaciones y mediciones rápidas 60

Escaneado con CamScanner

La representación gráfica de resultados de medición 62
Un mundo de imágenes 62
Las ingredientes de la basura 62
Variables continuas y variables discretas 65
El concepto de densidad 68

UNIDAD 2 EL MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS

¿Qué es el movimiento? 73
El movimiento rectilíneo uniforme 74
Descripción de movimientos mediante tablas de valores 75
Descripción de movimientos mediante gráficos 76
El gráfico "*x en función de t*" 77
El gráfico "*x en función de t*" y la velocidad del móvil 77
Movimientos con velocidad variable 84
La forma más simple en que puede variar la velocidad 85
¿En qué unidad se mide la aceleración? 88
Introducción al concepto de fuerza 90
La fuerza como un tipo de acción de un cuerpo sobre otro 90
Representación gráfica de las fuerzas 91
Efectos producidos por una fuerza 92
Los cuatro tipos de fuerza de la Naturaleza 95
Una fuerza importante: el peso 96
Las fuerzas de roce 97
Más de una fuerza actuando sobre un cuerpo 99
La fuerza inexistente 99
¿Qué factores determinan el movimiento de un objeto 101
Introducción al concepto de fuerza neta 102
La primera Ley de Newton 104
El Principio de Inercia 106
Aplicando el Principio de Inercia 107
La concepción tradicional y la concepción nueva 108
La segunda Ley de Newton 110
Masa y peso: dos conceptos diferentes 111
El carácter vectorial de la velocidad 111
Fuerza neta y variación de velocidad 112
La segunda Ley de Newton 114
Una nueva versión para la Segunda Ley de Newton 117
La tercera Ley de Newton 119
La tercera Ley de Newton en acción 120
Las fuerzas son interacciones entre cuerpos 121
El sistema solar 124
El camino zigzagueante del conocimiento científico 124
Las primeras ideas acerca del Universo 125
El surgimiento del sistema heliocéntrico 126
Copérnico 128
Kepler 129
Galileo 130
La síntesis final de Newton 132
La Ley de la Gravitación Universal 133
El movimiento de caída libre 138
Galileo y la caída libre 139

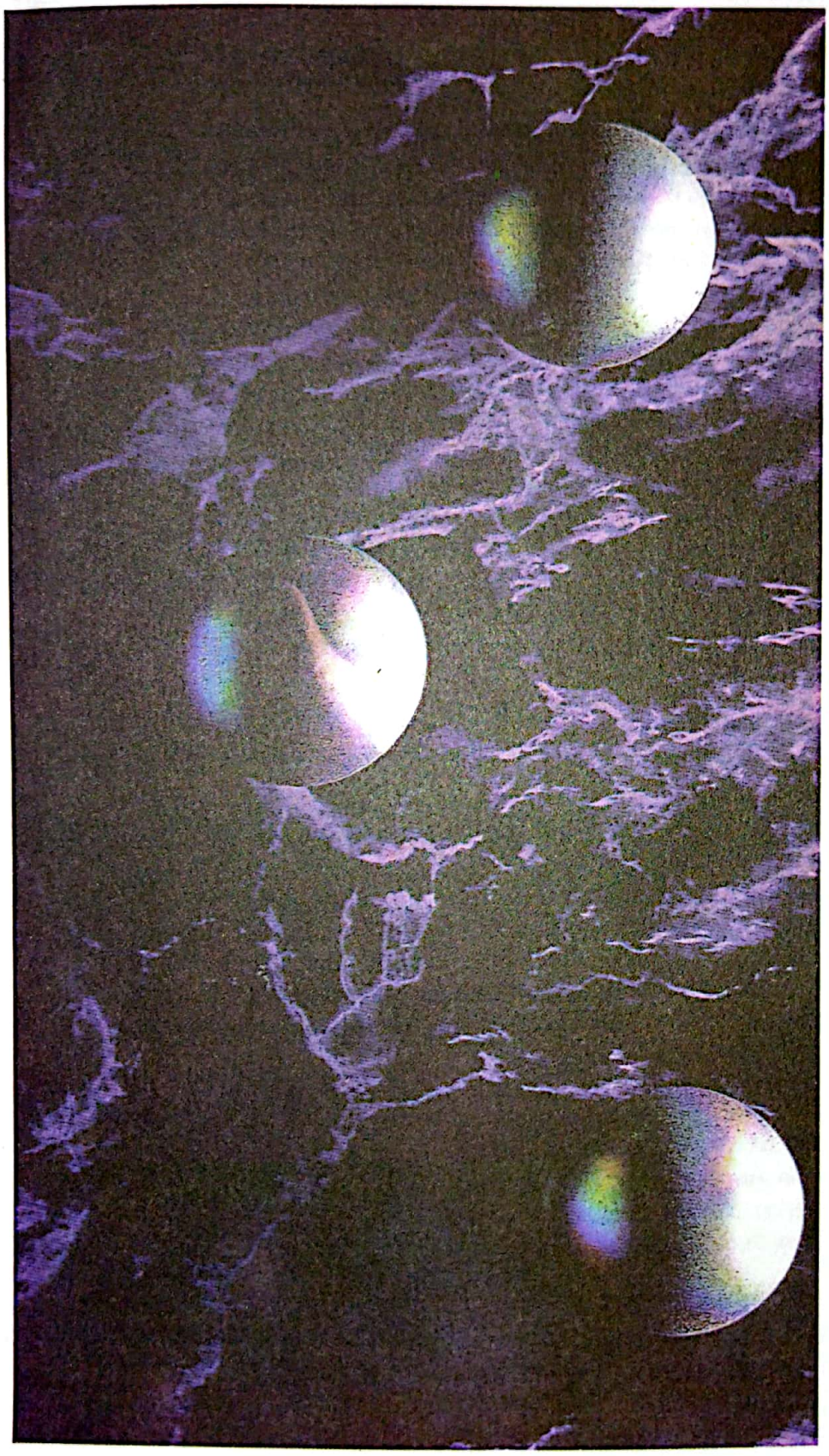
Escaneado con CamScanner

¿Caen más rápido los cuerpos más pesados? 140
El enfoque de Galileo 142
¿Qué tipo de movimiento es la caída libre? 143
La caída libre a la luz de las leyes de Newton 146
Algo más acerca de la aceleración de la gravedad 147
Los gráficos del movimiento de caída 150
Caída de un cuerpo en un medio resistente 150
Medición de la aceleración de gravedad en tu ciudad 151

UNIDAD 3 ENERGIA

El surgimiento del concepto 155
Propiedades de la energía 156
Unidades de energía 157
Energía Cinética 158
El trabajo como medida de transferencia de energía 161
El trabajo mecánico 161
Relación entre trabajo mecánico y variación de energía cinética 163
¿Qué sucede si sobre un cuerpo está actuando más de una fuerza? 166
Un breve resumen de lo anterior 166
La energía potencial gravitatoria 168
Unos pocos ejemplos para comenzar 168
Una propiedad importante de la energía potencial 170
Una ecuación para calcular la energía potencial gravitatoria 170
El nivel cero de la energía potencial gravitatoria 172
Transformaciones de energía cinética en potencial y viceversa 174
La energía mecánica total 174
Transformaciones de energía cinética en potencial y viceversa 175
¿Bajo qué condiciones se mantiene constante la energía mecánica total? 179
Introducción al concepto de potencia 182
Factores que influyen en la cantidad de energía consumida 183
El concepto de potencia 183
El "kilowatt hora" 186
Otra unidad de potencia 187
Máquinas simples que facilitan la vida 188
Una cuerda y una polea 188
La polea móvil 189
La polea, ¿permite ahorrar energía? 191
Modificando fuerzas con ayuda de palancas 193
Palancas en nuestro cuerpo 194
Trabajo mecánico realizado con ayuda de máquinas simples 196
El plano inclinado 197
La cuña y el tornillo 199
La rueda 199

Escaneado con CamScanner



UNIDAD 1

❑ INTRODUCCIÓN A LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y SU MEDICIÓN

Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner

Introducción

El conocimiento científico es el resultado de una estrecha interacción entre la información obtenida a través de la experimentación y la elaboración abstracta de conceptos y teorías. A manera de ejemplo, en esta Unidad iniciamos con un relato acerca de cómo surgió históricamente el concepto actual de "núcleo atómico".

En la relación entre teoría y experimento, uno de los conceptos más fructíferos como herramienta de estudio es el de "modelo". Por tal razón, dedicamos unas páginas a introducir y aclarar dicho concepto.

Más adelante, presentaremos aspectos importantes relativos a la medición. Conocerás la historia de la unidad de longitud, así como algunos de los problemas que han surgido en este contexto; a través de este tema, en su momento.presentamos una introducción del Sistema Internacional de Medidas (SI).

La introducción de la notación científica permite expresar, en forma abreviada, números muy grandes o muy pequeños. Asimismo, facilita mucho las operaciones con este tipo de números.

El final de la unidad, se proponen algunas mediciones que te resultarán interesantes, al tiempo que se presentan problemas relacionados con la precisión de las mediciones y con la representación gráfica de sus resultados.

Un episodio en la historia de la Física

Hemos querido iniciar este tema relatando un episodio de la historia de la Física. Mucho podemos aprender de quienes han dedicado su vida al estudio de la Naturaleza, intentando desentrañar sus misterios y descifrar las leyes que regulan su comportamiento.

Ellos han escrito páginas inmortales en el libro infinito del conocimiento científico y tal vez tú, estimado joven lector, estés destinado algún día a continuar su labor.

Pues bien, he aquí nuestro relato:

El siglo XIX había sido testigo de un acelerado desarrollo en el conocimiento del átomo, en especial con base en los trabajos de grandes químicos de la talla de Dalton y Mendeleiev.

***Fig. 1.2** El químico ruso Dimitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907) descubrió la periodicidad de las propiedades de los elementos químicos.*

Este desarrollo hacía surgir, en forma cada vez más insistente, una pregunta: ¿Son los átomos realmente indivisibles o están constituidos por partículas aun más pequeñas?

La primera partícula subatómica que se logró identificar fue el electrón. Había sido descubierta en 1897 por el físico inglés J. J. Thomson y se sabía que se podía

***Fig. 1.1** El químico inglés John Dalton (1766-1844) es el padre de la moderna teoría atómica.*

Escaneado con CamScanner

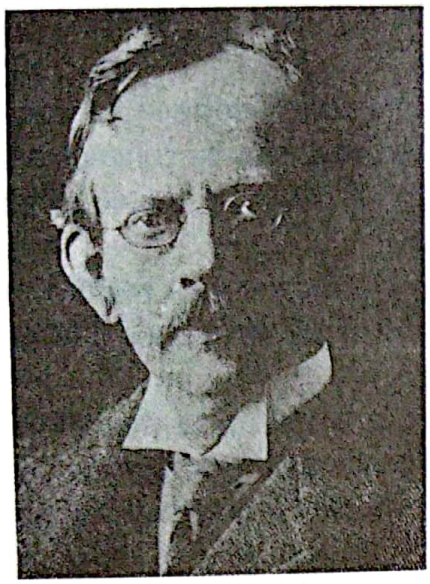


Fig. 1.3 *Sir Joseph John Thompson (1856-1940), uno de los más eminentes físicos ingleses, es considerado el descubridor del electrón.*

obtener a partir de muchas sustancias diferentes. Esto sugería la idea de que el electrón fuera uno de los constituyentes del átomo.

Pero los electrones tienen carga negativa, en tanto que los elementos químicos, normalmente, son eléctricamente neutros. Por lo tanto, se requiere la presencia de materia con carga positiva en el interior del átomo.

Las mediciones hechas mostraban, además, que los electrones constituyen sólo una parte muy pequeña de la masa total del átomo.

Sobre esta base, en 1904 Thomson propuso uno de los primeros modelos de átomo. Según este modelo, el átomo sería una esfera con carga positiva en cuyo interior se distribuyen los electrones "como pasas en un panque".

Aunque dejaba muchas preguntas sin respuesta, el modelo de Thomson fue, durante algunos años, el más aceptado.

Sin embargo, entre 1909 y 1911, Ernest Rutherford llevó a cabo una serie de experimentos que significaron un gran adelanto en la comprensión de la estructura interna del átomo.

Rutherford estaba estudiando el comportamiento de partículas α al atravesar una delgada lámina de metal. Las partículas α son emitidas por algunas sustancias radiactivas. Tienen carga positiva y una masa equivalente a cuatro veces la masa del átomo de hidrógeno. Más tarde se comprobó que son átomos ionizados de helio.

Al atravesar la lámina de metal, algunas partículas α son deflectadas como resultado de su interacción con los átomos de la lámina. Este fenómeno recibe el nombre de "difusión" o "*scattering*" de partículas α.

Si se conoce la masa y la velocidad de las partículas α, el análisis de los ángulos de desviación puede proporcionar una valiosa información acerca de los átomos en la lámi-

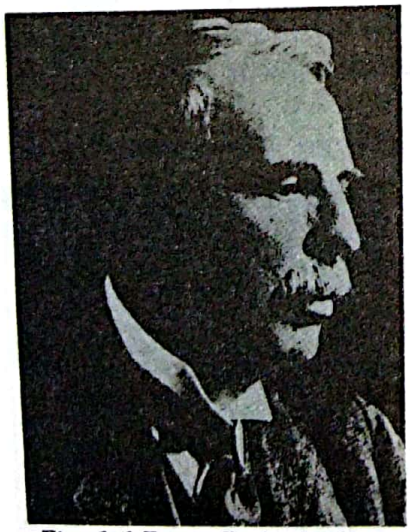


Fig. 1.4 *Ernest Rutherford (1871-1937) nació en Nueva Zelandia. Emigró a Inglaterra y trabajó con J.J. Thompson. En 1908 recibió el premio Nóbel de Química*

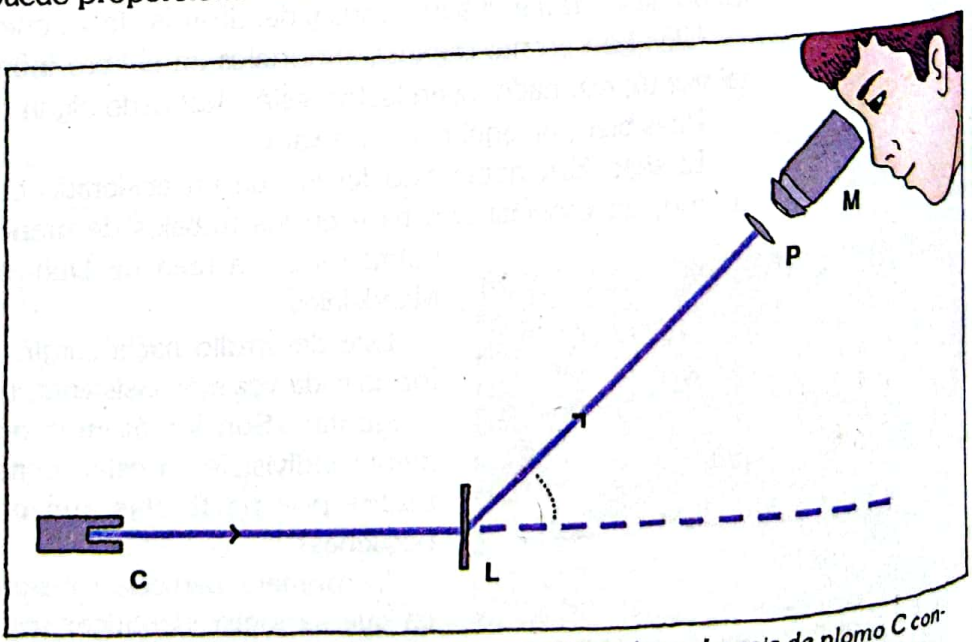


Fig. 1.5 *Montaje usado por Rutherford y sus colaboradores. La caja de plomo C contiene una sustancia radiactiva que emite partículas X. Estas inciden sobre la lámina metálica L y son deflectadas por la pantalla fluorescente P que se observa a través del microscopio M.*

Escaneado con CamScanner

na y de la distribución de la carga eléctrica en su interior. Ese era el principal objetivo de los experimentos de Rutherford. Pero dejemos que sea él mismo quien nos relate lo que ocurrió entonces.

Yo había observado el scattering de partículas a y el dr. Geiger, en mi laboratorio, lo había estado estudiando en detalle. Había encontrado que, en una delgada lámina de metal, el *scattering* era usualmente pequeño, del orden de un grado.

Un día, Geiger se acercó y me dijo: "¿No piensa usted que el joven Mardsen, a quien he estado capacitando en métodos radiactivos, merece iniciar una pequeña investigación?"

Yo había pensado lo mismo, de modo que le propuse: ¿Por qué no pedirle que determine si es posible encontrar partículas *a* que hayan experimentado un gran ángulo de desviación ?

Debo confesarles que yo no lo creía probable. Sabíamos que las partículas *a* tienen gran masa, se mueven con gran velocidad y poseen, por lo tanto, una alta energía cinética. Y se puede mostrar que si el *scattering* se debe al efecto acumulado de un gran número de pequeñas desviaciones, la probabilidad de que una partícula *a* fuera desviada hacia atrás era muy baja.

Recuerdo que, dos o tres días más tarde, Geiger vino muy excitado, diciendo: "Hemos podido detectar partículas *a* que rebotan hacia atrás..."

Este fue el acontecimiento más increíble en toda mi vida. Era casi tan increíble como si hubiera disparado un proyectil de 15 pulgadas contra una hoja de papel y el proyectil rebotara y me golpeara.

Al pensar en la situación, llegué a la conclusión de que la desviación de estas partículas debía ser el resultado de un único choque, y cuando hice los cálculos, vi que era imposible obtener ese orden de magnitud, a menos que supusiera un sistema en el que la mayor parte de la masa del átomo estuviera concentrada en un pequeño núcleo. Fue entonces cuando tuve la idea de un átomo que tuviera un centro pequeño, de gran masa y con carga eléctrica.

Estos experimentos, y la idea de Rutherford, constituyeron el origen del concepto moderno de núcleo atómico.

La idea de núcleo, tal como surgía de la investigación experimental, llevaba, entre otras, a una conclusión sorprendente. De acuerdo con los resultados experimentales, el diámetro del núcleo es del orden de 10-14 m, o sea, alrededor de 1/10 000 del diámetro del átomo. Aunque parezca increíble, ¡la mayor parte del átomo es espacio vacío!

Teoría y experimentación en el desarrollo del conocimiento científico

El relato del origen del concepto de núcleo atómico entrega muchas enseñanzas.

Entre otras, pone de manifiesto que el avance del conocimiento científico es el resultado de una estrecha interacción entre la información entregada por los experimentos y la elaboración teórica de conceptos y teorías.

Escaneado con CamScanner

Fig. 1.6

El experimento proporciona la información directa e insustituible acerca del comportamiento de la naturaleza bajo determinadas condiciones.

Pero esta información sólo adquiere su real valor en la medida que la interpretamos sobre la base de conceptos y de construcciones teóricas, en las que la Matemática desempeña un papel fundamental.

Una teoría que no se sustenta en hechos experimentales corre el serio riesgo de perder todo contacto con la realidad y convertirse sólo en una fantasía. Así también, un conjunto de hechos experimentales que no se apoyan en un marco teórico adecuado pierden prácticamente todo su valor.

En este interjuego entre teoría y experimento, una de las herramientas conceptuales más fructíferas es el concepto de modelo.

Por tal razón, al comenzar nuestro curso de Física, vale la pena dedicar algunas páginas.

EL CONCEPTO DE MODELO

Un método de trabajo muy útil

Los hechos de la vida real son extraordinariamente complejos. En cada uno de ellos interviene una variedad tan grande de factores de todo tipo que resulta prácticamente imposible querer estudiarlos en toda su complejidad. ¿Qué hace el físico para poder conocer una realidad tan compleja?

La respuesta es sencilla: ante cada situación concreta, el hombre de ciencias intenta simplificar, tanto como sea posible, la situación que tiene que estudiar.

El procedimiento consiste en centrar la atención sólo en aquellos aspectos que se consideran los más importantes en cada caso y despreocuparse de todos los demás.

Obtiene así una representación idealizada, muy simplificada de la realidad.

Llamaremos "modelo " a esta representación simplificada de la realidad. Un "modelo" es una representación simplificada de la realidad. Toma en cuenta sólo aquellos aspectos que se consideran los más importantes en cada caso.

Fig. 1.7

Un modelo de átomo, por ejemplo, es una representación mental, altamente simplificada, del átomo real. Contiene sólo algunas de las propiedades del átomo real. Siendo mucho más simple que el átomo concreto, puede ser estudiado con mucha mayor facilidad.

En años anteriores, has tenido oportunidad de conocer un modelo de átomo muy simple: un núcleo central compuesto de protones y neutrones, y una envoltura constituida por electrones.

Tal como vimos el curso pasado, con ayuda de este modelo de átomo se puede llegar a una serie de conclusiones interesantes acerca de algunas propiedades de la materia.

Escaneado con CamScanner

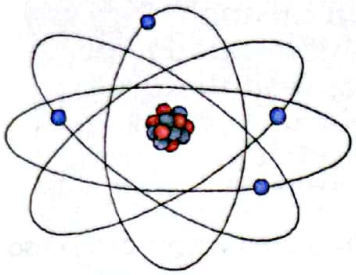


Fig. 1.8 Un modelo de átomo

Varios significados para una misma palabra

Conviene hacer aquí una observación acerca de la palabra "modelo" . En el lenguaje cotidiano, se emplea con significados muy variados. Hablamos, por ejemplo de un "marido modelo", o de una "modelo" que, en un desfile de modas, presenta un nuevo "modelo" de abrigo para la próxima temporada. En algunos casos estamos refiriéndonos a personas, en otros casos a objetos.

Tampoco en Física la palabra "modelo" posee un significado único.

Con diferentes objetos podemos construir, por ejemplo, un modelo de una central hidroeléctrica. Aquí, el modelo es una especie de copia a escala en la que se ha dejado de lado una gran cantidad de detalles que se consideran poco relevantes.

Otro tipo de modelos, que han ido adquiriendo cada vez más importancia en la investigación científica y tecnológica, son los modelos computacionales.

Supongamos que se dispone de un programa computacional que simula el comportamiento del flujo de vehículos en una zona de una ciudad. Con ayuda de este modelo computacional será posible estudiar, por ejemplo, la distribución más apropiada de los semáforos o poner a prueba diversas modificaciones en el sentido de tránsito de algunas calles. Los modelos computacionales reciben también el nombre de "simulaciones", porque son especie de imitaciones de la realidad.

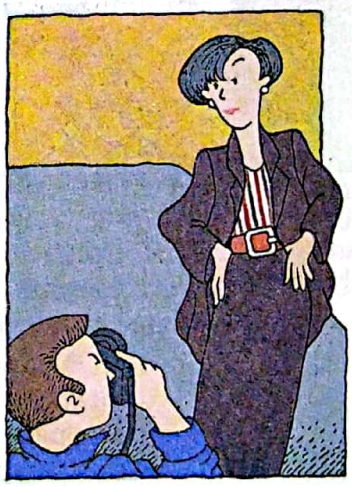


Fig. 1.9 Modelo posando para fotógrafo

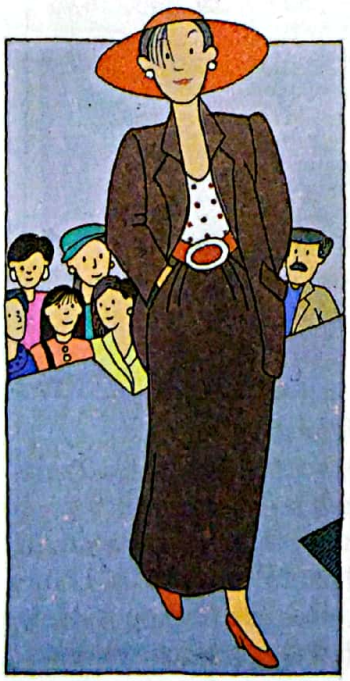


Fig. 1.10 Un modelo de última moda.

Un tercer tipo de modelos en Física corresponde a los modelos abstractos. Son los más importantes en la investigación científica. Hablaremos frecuentemente de ellos. En este caso, el modelo no es un objeto, sino una idea, una representación mental. Un modelo de este tipo es el modelo de átomo mencionado más arriba.

Los cuerpos geométricos son, asimismo, modelos de ese tipo. En efecto, un cubo no es un objeto material. No tiene peso, no tiene color, no tiene textura. No está hecho de ninguna sustancia. No es blando ni duro. Es sólo una forma. Existe sólo en la mente de las personas. Es un modelo.

A veces decimos: "Un dado es un cubo". Esta afirmación no debe ser tomada al pie de la letra. Su significado es algo así como lo siguiente: "Si pienso únicamente en la forma que tiene un dado y me despreocupo de todas sus demás propiedades, entonces puedo decir que la forma del dado es parecida a la forma de un cubo".

Escaneado con CamScanner

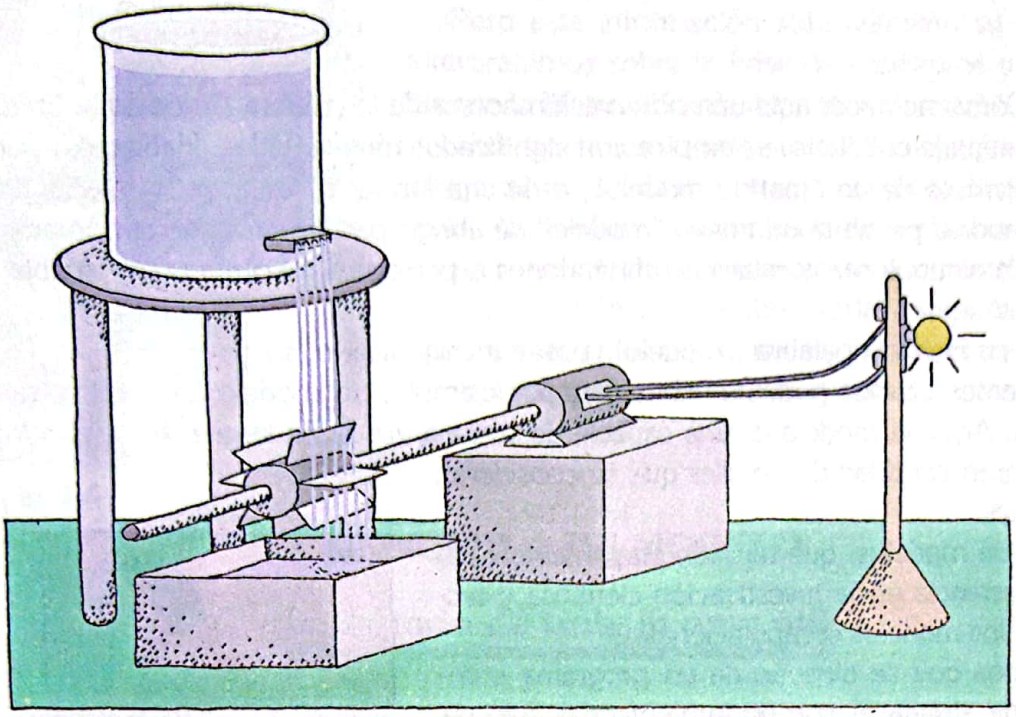


Fig. 1.11
Un modelo de una central hidroeléctrica

Un mismo objeto puede ser representado por diferentes modelos

Un mismo objeto o proceso puede ser representado por diferentes modelos, dependiendo de los objetivos del estudio que queramos realizar acerca de él.

Así, por ejemplo, si estamos estudiando el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, podemos considerar a la Tierra como un punto.

En cambio, si queremos explicar la existencia de el día y la noche, una Tierra "puntual" no es un modelo adecuado. Debemos pensar más bien en una esfera que gira en torno a su eje.

A su vez, si estudiamos el movimiento de la pelota en un partido de tenis, lo más adecuado es suponer que la superficie de la Tierra es plana.

Es evidente que el planeta Tierra; no es un punto, ni una esfera, ni un plano. Estos son sólo representaciones simplificadas de la Tierra, son modelos de la Tierra. Su objetivo es simplificar el estudio de un determinado problema, manteniendo sólo lo que es importante en cada caso y dejando de lado todo aquello que resulta secundario.

Fig. 1.13

Podríamos decir que un modelo es una suposición simplificadora.

Al emplear un modelo de Tierra, estamos suponiendo que la Tierra no es lo que realmente es, sino que es algo mucho más simple.

Como dijimos anteriormente, la idea fundamental reside en que la realidad es demasiado compleja para ser estudiada tal como es. El físico opera, entonces, con objetos idealizados, a los que ha despojado de casi todas sus propiedades, conservando sólo aquellas que son indispensables. Estos objetos idealizados son los "modelos" de los objetos reales.

Fig. 1.12 *Las simulaciones computacionales constituyen un importante tipo de modelo.*

Escaneado con CamScanner

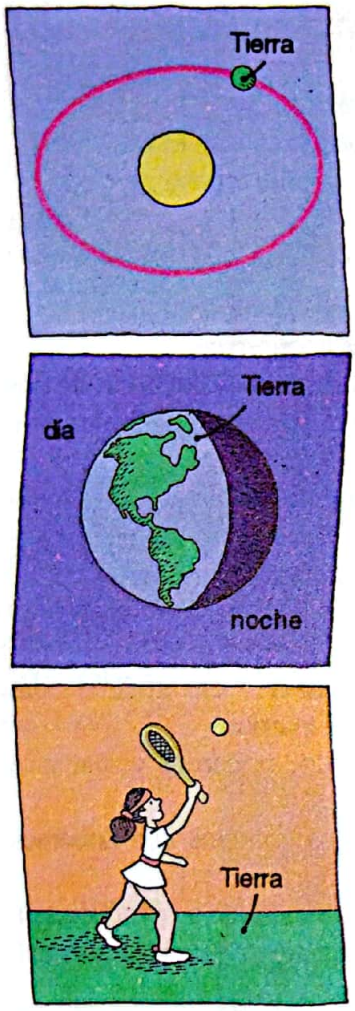


Fig. 1.14 Tres modelos diferentes para nuestro planeta

¿Cómo trabajar con un modelo?

Surge, entonces, la pregunta: ¿Cómo trabajar con un modelo? La receta es muy simple: simplifica al máximo la situación que estás estudiando. Es decir, formula un modelo lo más simple posible, pero que contenga los aspectos esenciales.

Trabaja con este modelo, extrayendo las conclusiones que te permitan responder al problema que estás enfrentando. En caso necesario, modifica el modelo.

Observa que no existe el modelo perfecto. Lo que tenemos que buscar es el modelo más adecuado para el problema que estemos estudiando. Diferentes problemas pueden requerir diferentes modelos del mismo objeto real. Es decir, un modelo no es bueno ni malo en sí mismo. Sólo es adecuado o no adecuado a nuestros propósitos.

Por supuesto que el modelo no corresponde cien por ciento al objeto real representado. Nadie creería que la Tierra es realmente un punto, ni una esfera, ni un plano.

Ningún físico cree tampoco que el átomo es realmente como aparece en los libros de texto. Cualquiera que haya estudiado algo de la física del átomo estará convencido de que el átomo real es muchísimo más complicado.

Justamente, lo que se quiere es dejar de lado un gran número de aspectos que desempeñan un papel secundario. Al ser más simple, al mostrar sólo los aspectos esenciales, resulta mucho más fácil trabajar con el modelo, hacer deducciones, formular predicciones, planificar, extraer conclusiones.

Un ejemplo concreto

Veamos un ejemplo que nos mostrará esta forma de operar.

En las regiones en que el invierno es frío y riguroso, mantener una temperatura adecuada en las habitaciones implica un alto gasto por concepto de combustible. Para encontrar las formas más económicas de mantener la temperatura inte-rior deseada, formularemos el siguiente modelo de casa:

Observa que el modelo deja de lado una impresionante cantidad de rasgos que posee cualquier casa real.

La forma ha sido simplificada la máximo, hasta convertirse en un simple cubo. Han desaparecido muebles, habitantes, objetos domésticos. Las distintas fuentes de calor que pudiera haber se han resumido a una sola estufa, etcétera.

El análisis de los procesos térmicos en este modelo es muchísimo más simple que en la casa real. Lo fundamental se percibe con mucha mayor claridad, ya que los aspectos secundarios no entorpecen la visión.

Así, por ejemplo, el modelo nos sugiere las siguientes consideraciones:

1. Si la temperatura interior desciende con respecto al nivel deseado, hay dos posibilidades de solución: aumentar la cantidad de calor producida por la estufa o disminuir las pérdidas de calor a través de las paredes.

Escaneado con CamScanner

Un modelo de casa

Nuestra casa será un cubo. Lo único que hay en su interior es una estufa que entrega calor. A través de las paredes del cubo, se produce un traspaso de calor desde el interior hacia el exterior.

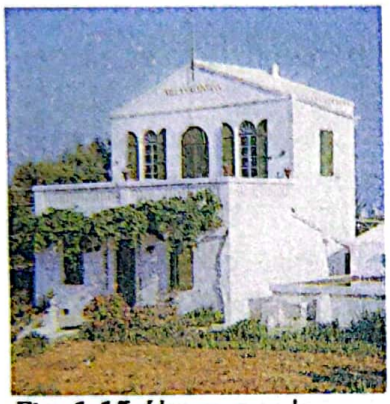


Fig. 1.15 *Una casa en la realidad.*

Evidentemente la segunda posibilidad es la más económica.

II. Sabemos que el flujo de calor a través de las paredes depende de dos factores: las características térmicas de la pared y la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.

Este último factor no depende de nosotros, ya que la temperatura exterior está dada por las condiciones climáticas y la temperatura interior es justamente la temperatura deseada a la que no quisiéramos renunciar.

III. A su vez, las características térmicas de la pared presenten fundamentalemente dos formas de traspaso de calor del interior al exterior: (a) por trasmisión a través de las paredes y (b) por ingreso de aire frío desde el exterior y la consiguiente salida de aire caliente desde el interior.

Una vez hecho este análisis en nuestro modelo, podemos volver a la habitación real.

El modelo nos ha llamado la atención hacia los aspectos que debemos atender.

Por una parte, hay que determinar los lugares por donde se produce salida o entrada de aire y, por otra, determinar los lugares en que la conductividad de la pared es mayor: ventanas, eventuales techos poco aislados, etc.

A partir de aquí, podremos extraer un conjunto de conclusiones prácticas que nos permitirán ahorrar combustible en la próxima temporada de fríos.

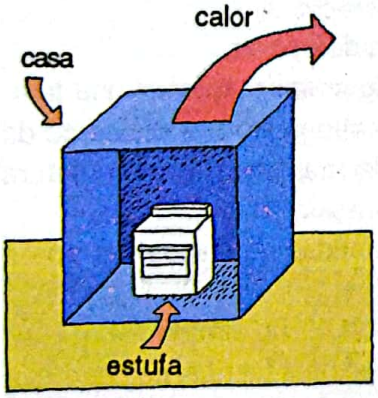


Fig. 1.16 *Un modelo de casa.*

Actividades

1. En el lenguaje cotidiano, se emplea la palabra "modelo" con diferentes significados. Haz una lista con todos los significados que conoces de esta palabra.
2. De acuerdo con el texto, ¿qué utilidad tienen los modelos en Física?
3. Basándote en el modelo de casa que se presenta en el texto, ¿qué proposiciones podrías formular para ahorrar combustible en una casa o departamento?
4. La figura presenta un modelo del proceso de enfriamiento de una taza de café.
(a) ¿Podrías explicar en palabras este proceso, basándote en el modelo?
(b) ¿En qué medida este modelo es una simplificación de la realidad?

Escaneado con CamScanner

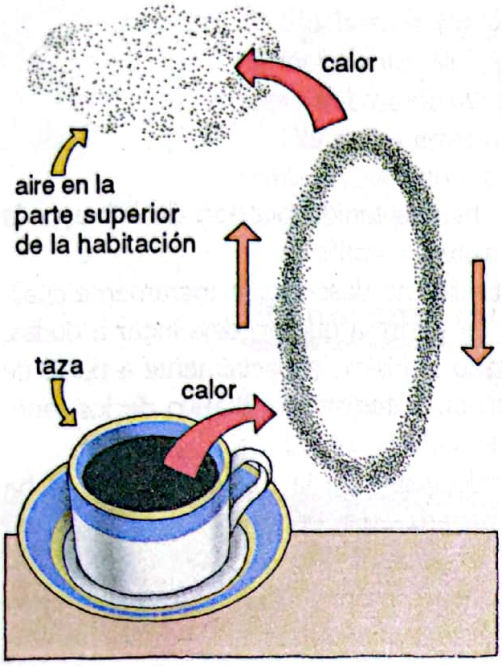
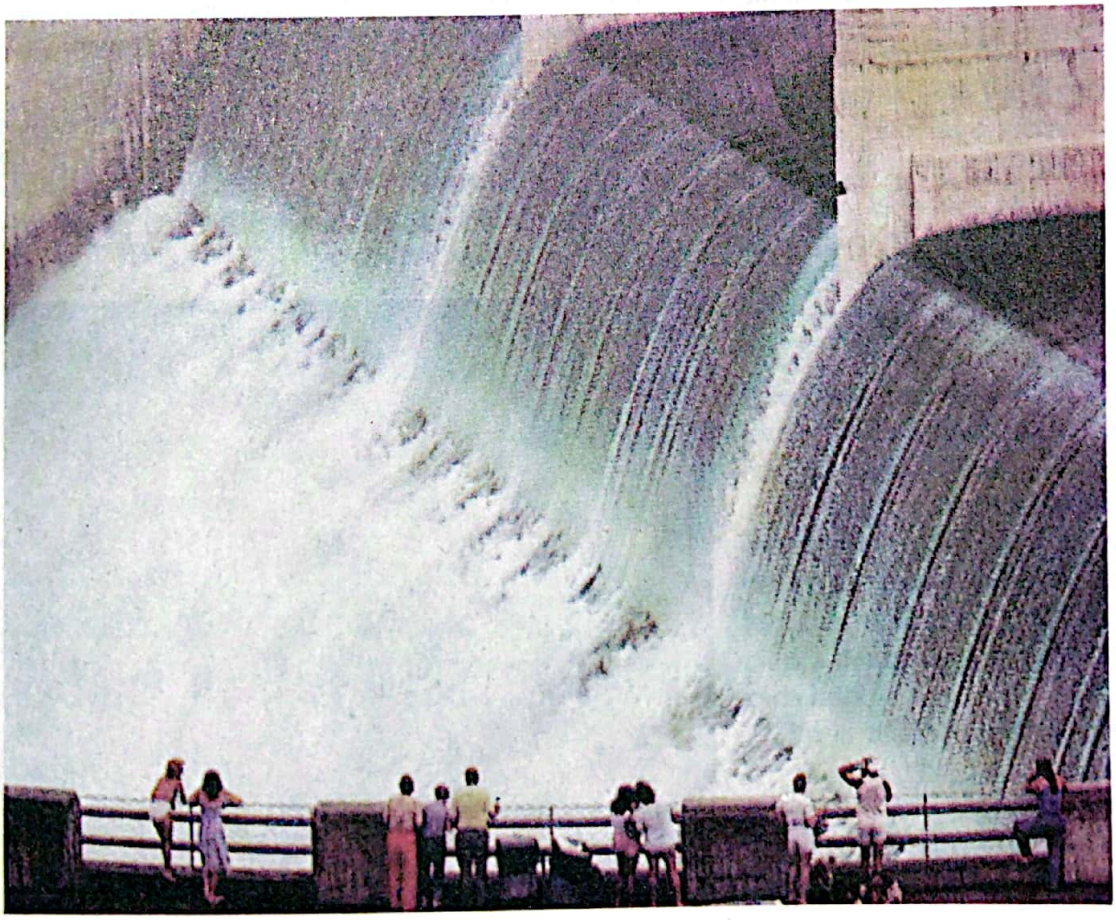


Fig. 1.17

(c) ¿Crees que el modelo permite entender mejor el proceso?
(d) ¿Propondrías alguna modificación al modelo para que pueda cumplir mejor su finalidad?

5. (a) Construye un modelo de una central hidroeléctrica (por ejemplo, algo similar al que se muestra en el texto).
(b) Apoyándote en tu modelo, explica los diferentes procesos de transformación de energía que tienen lugar en la central.
(c) Utiliza el modelo para estudiar la influencia que tiene la altura inicial del agua en la potencia eléctrica generada.

6. El señor Contreras afirma que las conclusiones que uno pueda obtener a partir del modelo de central hidroeléctrica mencionado en la actividad anterior no tienen ningún valor porque, según sus propias palabras, "una central hidroléctrica real es muy, pero muy diferente a ese modelito". ¿Qué opinas?



Escaneado con CamScanner

MEDICIONES, MAGNITUDES, UNIDADES

La medición en el desarrollo del conocimiento científico

En nuestro curso anterior, en el Primer Grado, hemos tenido ocasión de subrayar la importancia que se le asigna a la medición en el trabajo científico.

Es cierto que, en un gran número de casos, basta una descripción meramente cualitativa de un evento, pero la historia muestra, en una forma que no deja lugar a dudas, que el impresionante avance que ha experimentado la Física, especialmente a partir de los trabajos de Galileo, habría sido imposible sin un enfoque cuantitativo de los fenómenos en estudio.

Es decir, el desarrollo de la Física sólo ha sido viable en la medida en que se ha hecho posible efectuar mediciones y obtener resultados numéricos, y, con ello, se ha hecho posible aplicar las Matemáticas al estudio de procesos físicos.

El físico inglés Lord Kelvin afirmó: "Si tú puedes medir aquello de lo que estás hablando y puedes expresarlo en números, entonces podrás decir que sabes algo acerca de él. Pero si no puedes medirlo y no puedes expresarlo en números, entonces tu conocimiento es muy débil e insatisfactorio".

En verdad, la medición es una de las actividades científicas más antiguas en la historia del hombre.

Todas las grandes civilizaciones de los albores de la historia han dejado innumerables construcciones, herramientas, objetos de uso diario y obras de arte que atestiguan un gran desarrollo de su capacidad de medir.

Los antiguas culturas que poblaron el suelo mexicano alcanzaron un sorprendente

***Fig. 1.18** Los grandes monumentos mayas muestran un conocimiento de los movimientos del Sol durante el año.*

Escaneado con CamScanner

desarrollo en la medición de tiempos, longitudes y pesos.

Muchos de los grandes monumentos mayas, por ejemplo, muestran un acabado conocimiento de los movimientos del Sol durante el año, que sólo pudo ser posible sobre la base de mediciones de gran exactitud.

Por todas estas razones, resulta conveniente que nos detengamos un momento para hablar brevemente acerca de los procedimientos de medición, los instrumentos de medida y las unidades.

El concepto de medición

Para medir una magnitud cualquiera, necesitamos haber definido previamente:

(a) una unidad de medida, y

(b) un procedimiento que permita comparar esta unidad con la magnitud que se desea medir.

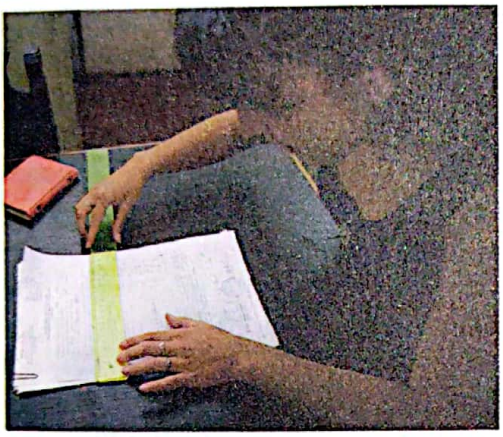


Fig. 1.19 *La regla graduada, un instrumento muy simple para medir longitudes.*

Así, en una primera aproximación al concepto, podríamos decir que medir una longitud significa determinar cuántas veces cabe en ella la longitud elegida como unidad.

Afirmar que el ancho de una mesa mide 65 cm es equivalente a decir que la longitud que llamamos centímetro cabe 65 veces en el ancho de la mesa.

En este caso, el procedimiento es bastante simple: basta colocar nuestra unidad (el centímetro) repetidamente, una vez a continuación de la anterior, hasta completar la longitud a medir. O bien utilizar una regla graduada.

A veces, la situación no es tan sencilla y debemos recurrir a procedimientos indirectos.

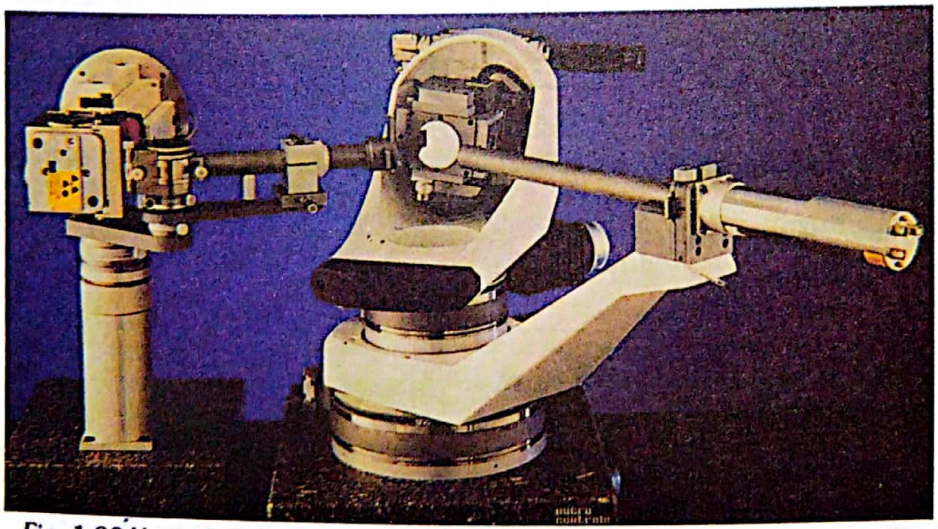


Fig. 1.20 *Un moderno difractómetro destinado al estudio de superficies y películas muy delgadas.*

El espesor de una hoja de papel, por ejemplo, es demasiado pequeño para ser determinado directamente con ayuda de una regla.

Pero si medimos el espesor de una resma de papel o de un libro cuyo número de hojas es conocido, será sencillo calcular el espesor de cada hoja.

En la mayor parte de los casos, el hombre ha construido instrumentos para medir las magnitudes que le interesan.

Escaneado con CamScanner

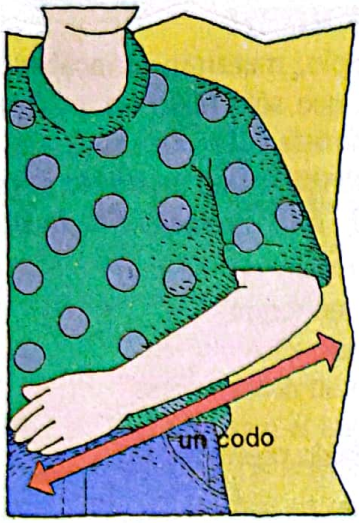


Fig. 1.21 Un "codo" correspondía a la distancia entre el codo y el extremo del dedo mayor.

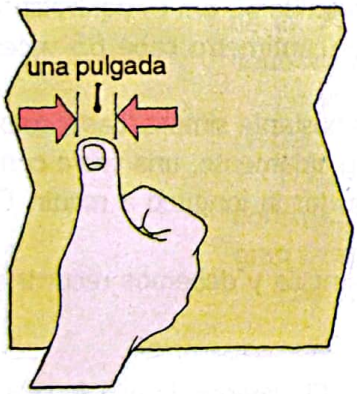


Fig. 1.22 La "punlgada" correspondía originalmente al ancho del dedo pulgar. Hoy día equivale, por definición, exactamente a 2.54 cm.

En tales circunstancias, nuestra tarea se reduce a emplear adecuadamente el respectivo instrumento de medición.

Esto parece muy simple, pero no debemos olvidar que detrás de cada instrumento de medición se esconde un cúmulo de conocimientos científicos y de desarrollos tecnológicos que, a veces, son extraordinariamente sofisticados.

La larga historia de la unidad de longitud

Para entender mejor algunos de los problemas que es necesario resolver al establecer unidades de medida, revisemos rápidamente la historia de la unidad de longitud, el metro.

Parece muy probable que las primeras unidades de medida empleadas por el hombre fueron las de longitud, y se basaron en el propio cuerpo.

Una de las unidades más antiguas fue el pie. Inicialmente correspondía al largo de un pie cualquiera. Algo más tarde, fue el largo del pie de una persona determinada, por ejemplo el pie del rey o del jefe de la tribu.

De gran antigüedad es, asimismo, el codo, que correspondía a la distancia entre el codo y el extremo del dedo mayor, es decir, unos 50 cm.

La pulgada, que aún se utiliza en países de habla inglesa y en algunos campos de la técnica, equivalía inicialmente al ancho del dedo pulgar. De acuerdo con la definición actual, una pulgada equivale exactamente a 2.54 cm.

En la antigua Grecia, las unidades básicas de longitud eran el dedo, (aproximadamente unos 19.3 mm) y el pie (aproximadamente 309 mm).

TABLA 1.1

EL "CODO" Y EL "PIE" EN DIFERENTES CULTURAS DE LA ANTIGÜEDAD

Cultura	El codo (equivalencia aprox.)	El pie (equivalencia aprox.)
Egipcios	524 mm	254 mm
Hebreos	450 mm	-
Griegos	463 mm	309 mm
Romanos	444 mm	296 mm

Escaneado con CamScanner

Además se usaban, por lo menos, otras catorce unidades diferentes.

El número y diversidad de unidades llegó a ser tal, que la situación empezó a tornarse caótica. Existía una enorme variedad de unidades distintas. A su vez, cada una de ellas era diferente de un país a otro y se modificaba en el tiempo. Por otra parte, no resultaba fácil comparar valores expresados en diferentes unidades.

Poco a poco, empezó a tomar fuerza la idea de unificar las unidades de medida y de simplificar la transformación de una unidad en otra. Hacia fines del siglo XVII surgieron varias proposiciones. Pero la idea sólo se hizo realidad un siglo más tarde, cuando el Gobierno francés oficializó el llamado Sistema Métrico Decimal.

Este sistema de unidades tomaba como patrones fundamentales de medida valores extraídos del mundo natural, que no dependían del hombre.

Así, por ejemplo, como unidad de longitud, se proponía al "metro".

De acuerdo con la definición que se daba entonces, esta unidad equivalía a la diezmilésima parte de la longitud entre la línea del Ecuador y uno cualquiera de los Polos terrestres, medida a lo largo de un meridiano.

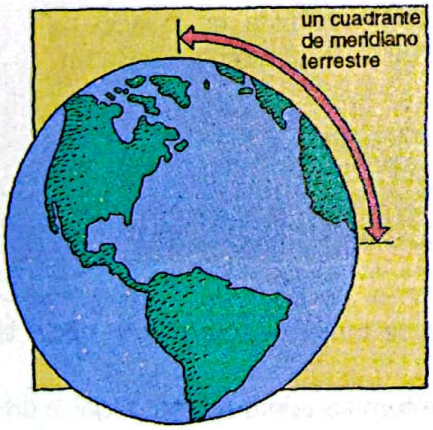


Fig. 1.23 *Originalmente, el "metro" se definió como la diezmilésima parte de un cuadrante de meridiano terrestre.*

Surgieron, sin embargo, algunos problemas prácticos. Cada nueva medición de la longitud de un meridiano daba por resultado una modificación en el largo de la unidad.

Para evitarlo, se procedió a construir una barra, se hizo en ella dos marcas a la distancia correspondiente y se dijo: "De ahora en adelante, el metro será la distancia entre estas dos marcas". La barra original, que pasó a llamarse "metro patrón", fue guardada en un recinto especial con todas las precauciones del caso y se fabricaron réplicas con la debida precisión.

Pero al aumentar la capacidad de los hombres de ciencia para efectuar mediciones cada vez más precisas, también este patrón de medida se hizo poco conveniente.

En 1960, se tomó, como base para definir el metro, la longitud de onda de la línea naranja emitida por un determinado tipo de átomo de criptón, bajo determinadas condiciones.

También esta definición ha sido hoy superada. Considerando que, cuando se requiera muy alta precisión, es más fácil medir tiempos que medir distancias, entonces se ha decidido definir el "metro" con base en el tiempo que demora la luz en recorrer una cierta distancia (ver cuadro 1.1).

La definición de "metro" adoptada en 1983 es la siguiente:

El "metro" es la longitud del tramo recorrido en vacío por la luz en un intervalo de tiempo igual a 1/299 792 458 s.

Fig. 1.24 *El "metro patrón" y el "kilogramo patrón"*

Actividades

1. Haz una lista de los instrumentos de medición que conoces e indica cuál es la magnitud que mide cada uno de ellos.

Escaneado con CamScanner

Cuadro 1.1

CUATRO DEFINICIONES DE "METRO"

Definición de metro adoptada en 1799 por la Asamblea Legislativa Francesa:
El metro es la diezmilésima parte de un cuadrante de meridiano terrestre.
Definición de metro adoptada en 1889 en la Primera Conferencia General de Pesos y Medidas:
El metro es la distancia entre dos líneas marcadas sobre una barra de platino e indio, llamada metro patrón, que se guarda en la Oficina Internacional de Pesas y medidas.
Definición de metro adoptada en 1960 en la 11a. Conferencia General de Pesos y Medidas:
El metro es la longitud igual a 1 650 763.73 longitudes de onda, en el vacío, de la radiación correspondiente entre los niveles 2p10 y 5d5 del átomo de criptón 86.
Definición de metro adoptada en 1983:
El metro es la longitud del tramo recorrido en vacío por la luz en un intervalo de tiempo igual a 1/299 792 458 s.

2. (a) ¿Cuál sería la equivalencia en mm del "pie" si se tomara como patrón oficial la longitud de tu pie?
(b) ¿Cuál sería la equivalencia en mm del "codo" si se tomara como patrón oficial la distancia entre tu codo y el extremo del dedo mayor de tu mano?
3. Al definir la unidad de longitud, a veces se ha procedido a establecer como longitud de referencia una longitud dada en la Naturaleza, en tanto que, en otras ocasiones, se ha preferido definir la unidad en base a un patrón arbitrario, sin hacer referencia a ninguna situación o hecho natural. ¿A cuál de estos dos tipos corresponde cada una de las definiciones mencionadas en el cuadro 1?

La unidad de tiempo

El tiempo es otra magnitud que los físicos consideran fundamental al construir un sistema de unidades.

Para establecer una unidad de tiempo, todo lo que necesitamos hacer es tomar como referencia algún fenómeno que se repita periódicamente, sin variaciones; y qué mejor que basarse los propios movimientos de la Tierra, ya sea el movimiento diario en torno a su eje o el movimiento anual en torno al Sol.

El movimiento de rotación de la Tierra en torno a su eje da origen a la sucesión de días y noches, y constituye la más antigua forma de medir tiempos.

Escaneado con CamScanner

Una unidad natural de tiempo, el día solar, se basa en este movimiento y corresponde al tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del Sol por el meridiano de un lugar.

Si en lugar de fijarnos en el Sol, observamos el movimiento diario de una estrella, podemos definir el día sideral, que corresponde al tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos de una estrella dada por el meridiano de un lugar.

Debido al movimiento de traslación de la Tierra en torno al Sol, éste se va moviendo a lo largo del año en relación al resto de las estrellas. Por tal motivo, una estrella cualquiera sale cada día unos 4 minutos más temprano que el día anterior.

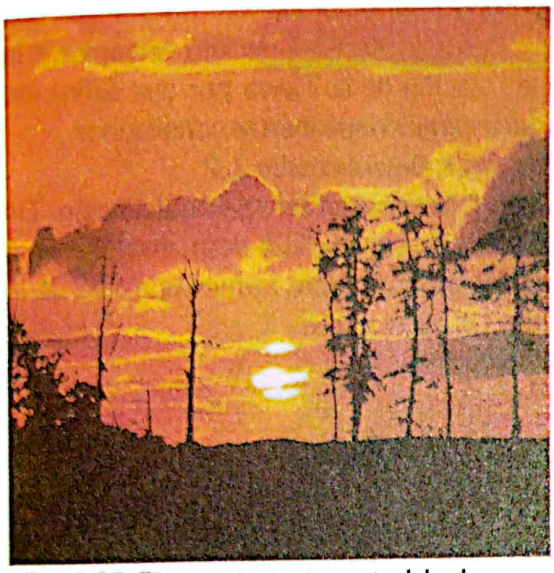


Fig. 1.25 *El movimiento aparente del sol se emplea como base para la definición del "día solar".*

Esto tiene como consecuencia que el día solar no coincide con el día sideral. De hecho, el día sideral es casi 4 minutos (para ser más exactos, 3 minutos y 56 segundos) más corto que el día solar.

El segundo es una unidad bastante más apropiada para medir pequeños intervalos. Es muy similar al tiempo entre dos pulsaciones sucesivas del corazón de una persona normal. Es, también, casi igual al tiempo que demora un péndulo de 1 m de longitud en realizar media oscilación.

Originalmente, el segundo fue definido como 1/86 400 de un día solar.

El número 86 400 surge de dividir el día en 24 horas; cada hora en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos. Con esta información, tú no tendrás dificultad en comprobar que, efectivamente, el día debe tener 86 400 segundos.

Sin embargo, las mediciones de los astrónomos han mostrado que el movimiento de rotación de la Tierra es bastante menos regular de lo que uno podría imaginarse.

La velocidad de rotación experimenta pequeñas variaciones de diverso tipo.

Fig. 1.26 *Por efecto de las mareas el día se alarga a razón de aproximadamente 30 s. por siglo.*

Por una parte, el estudio de la información que se tiene acerca de observaciones astronómicas antiguas indica que la velocidad de rotación está disminuyendo lentamente, de modo que el día se alarga a razón de aproximadamente unos 30 segundos por siglo. Al parecer, este fenómeno se debe a la pérdida de energía cinética que experimenta el planeta por efectos de las fuerzas de roce en el movimiento de aguas generado por las mareas.

Mediciones muy precisas indican, además, pequeñas fluctuaciones anuales, del orden de algunas milésimas de segundo, ori-

Escaneado con CamScanner

ginadas por variaciones en el tamaño de la masa de hielo polar y por cambios en las corrientes de aire en la atmósfera.

Hay, asimismo otras variaciones, también muy pequeñas, que no presentan ninguna regularidad y que parecen tener su origen en movimientos en el interior del núcleo terrestre.

Todas estas irregularidades en la rotación de la Tierra han llevado a los físicos a buscar otros procesos que puedan servir de base para una definición de la unidad de tiempo.

En 1967, la 13a. Conferencia General de Pesas y Medidas decidió reemplazar la definición de la unidad de medida basada en la rotación de la Tierra por una definición basada en la radiación emitida por un átomo determinado bajo ciertas condiciones.

Se adoptó, entonces, la definición que se reproduce en el cuadro 1.2.

Desde luego, no tendría ningún sentido querer memorizar semejante definción. De hecho, lo más probable es que muchos de los conceptos que utiliza sean absolutamente incomprensibles para ti. La hemos reproducido sólo para que te formes una idea de lo

Cuadro 1.2
DEFINICIÓN DE "SEGUNDO"

Definición de "segundo" adoptada en 1967 por 13a. Conferencia General de Pesas y Medidas:
El "segundo" es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133 no perturbado.

complejo que resulta tratar de definir una unidad de medida para un concepto tan fundamental como el tiempo.

Felizmente, para nuestras necesidades cotidianas, basta la precisión que proporciona un reloj

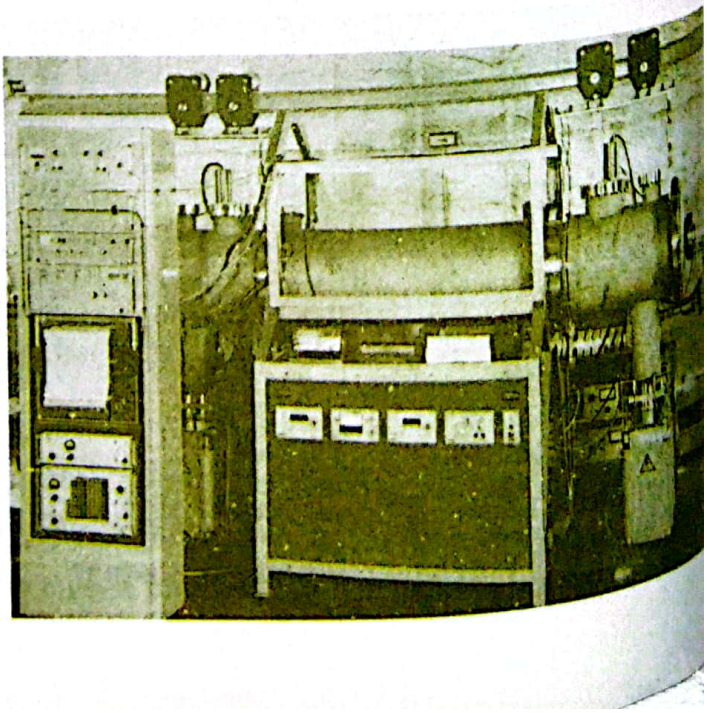


Fig. 1.27 *Un reloj de cesio. Con este tipo de relojes es posible medir tiempos con una precisión de 1 en 10^{14}. Esto equivale a un error de 1 s en unos 10 millones de años.*

Escaneado con CamScanner

cualquiera. Y si necesitamos un poco más de precisión, podemos usar un cronómetro de buena calidad.

Sin embargo, cuando un astrónomo o un físico necesitan trabajar con la más alta precisión, hasta el mejor cronómetro puede ser demasiado limitado y, tal como acabamos de ver, ni siquiera la Tierra es suficientemente regular en su movimiento como para garantizar la precisión requerida.

Actividades

1. Imagina que estás en una isla desierta, sin ninguna comunicación con el resto del mundo. Propón métodos que te permitirían determinar cuándo ha pasado exactamente un año desde el día en que llegaste a la isla.
2. Averigua en la literatura algo acerca las mareas. Por ejemplo: ¿Qué son?, ¿cuál es su causa?, ¿cuánto tiempo transcurre entre dos mareas altas consecutivas?
3. Según el texto, el día se alarga a razón de unos 30 s por siglo.
   (a)De acuerdo con esto. ¿cuánto tiempo habría que esperar para que el día fuera 1 hora más largo que hoy?
   (b) Supongamos que, para ese entonces, la definición de segundo continuara siendo la original. Es decir, "1 s es 1/86 400 de un día solar". En tal caso, el día tendría una duración de 86 400 s, al igual que hoy. ¿Cómo explicas esta aparente contradicción?
4. El tiempo que demora un péndulo en efectuar una oscilación completa depende de su longitud. Para un péndulo de longitud L, el tiempo T de una oscilación es aproximadamente igual a:
   $T = 2{,}01\ \sqrt{L}$,
   con T medido en s y L medido en m.
   (a) Usa esta relación para determinar el largo que debería tener un péndulo para que sus oscilaciones duraran 1 s.
   (b) Construye un péndulo con esas dimensiones y verifica si efectivamente demora 1 s en efectuar una oscilación. (Para mayor precisión, conviene que midas la duración de10 o 20 oscilaciones.)

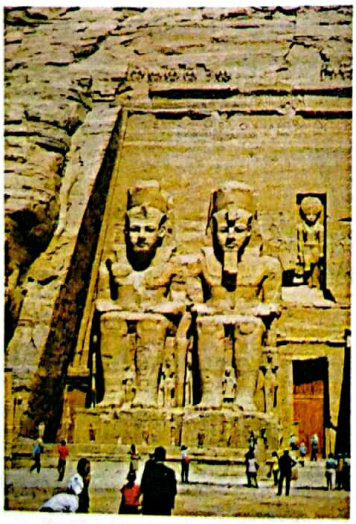


Fig. 1.28 La balanza parece haber sido inventada hace varios milenios por los egipcios, los súmeros o los persas.

La unidad de masa

Una tercera magnitud considerada fundamental por los físicos es la masa.

El concepto de masa surgió muy ligado al concepto de peso y como una forma de medir cantidad de materia.

En nuestro texto de "Introducción a la Física y a la Química" correspondiente al Primer Grado, hacíamos mención a una balanza hallada por los arqueólogos en una tumba egipcia y cuya antigüedad se estima en unos 7000 años.

Esto es un ejemplo de lo antigua que es la preocupación del hombre por

Escaneado con CamScanner

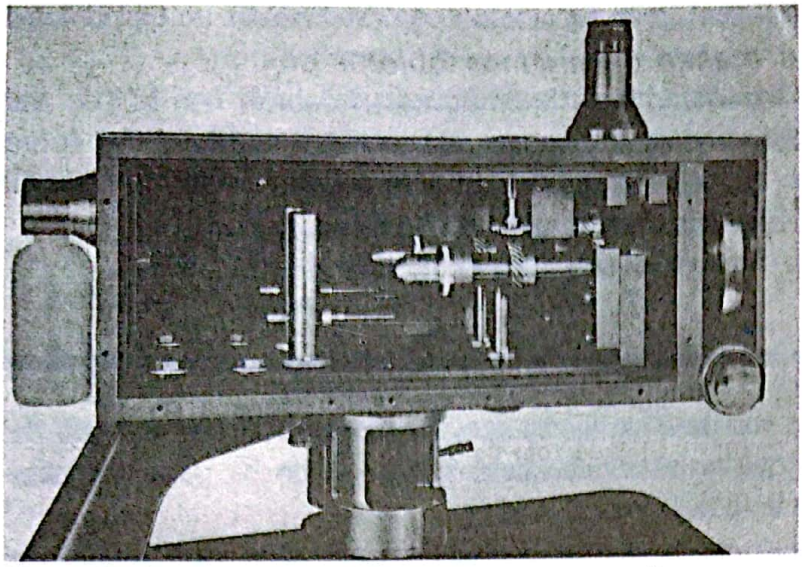


Fig. 1.29 *Una micobalanza de laboratorio. permite medir masas hasta de 0,05 millonésima de gramo.*

medir cantidades de materia con cierta precisión.

La unidad oficial de masa, el "kilogramo", ha experimentado menos vicisitudes que las unidades de longitud y de tiempo.

Originalmente, el Sistema Métrico Decimal definió el "gramo" como la masa de 1 cm^3 de agua pura. Debido a que el agua experimenta variaciones de densidad con la temperatura y con la presión, se estableció que dicha definición sería válida para la temperatura a la que el agua alcanza su máxima densidad (alrededor de los 4°C) y a presión normal.

Se estableció, a su vez, que el kilogramo equivale a 1 000 gramos. Es decir, corresponde a la masa de 1 dm^3 de agua en las citadas condiciones.

Con el fin de facilitar los procesos de medición, se construyó un cilindro de platino e iridio, cuya masa era igual a la masa de 1 dm^3 de agua.

Este cilindro fue bautizado como kilogramo patrón y se guarda en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, en Francia.

La experiencia, sin embargo, mostró que era mucho más práctico definir la unidad de masa en relación directa con el kilogramo patrón, en lugar de hacerlo en términos de una cierta cantidad de agua.

Y así ha quedado establecido hasta hoy (ver cuadro 1.3).

Cuadro 1.3
DEFINICIÓN DE "KILOGRAMO"

Definición de kilogramo adoptada en 1889 por la 1a. Conferencia General de Pesas y Medidas:

El kilogramo es la masa del kilogramo patrón que se guarda en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas.

Escaneado con CamScanner

El agua como estándar en las definiciones de unidades de medida

Resulta interesante hacer notar el papel que ha desempeñado el agua como estándar en la definición de varias unidades de medida.

De hecho, ya hemos mencionado de la definición original de las unidades de masa, el gramo y el kilogramo.

El agua participa, también, en la definición de la unidad de temperatura. La temperatura a la que el agua se congela es, por definición, 0° C. Asimismo, por definición, la temperatura a la que el agua hierve es 100° C. De modo que 1° C queda definido como la centésima parte de la diferencia de temperatura existente entre estas dos temperaturas patrones.

El agua también es actor principal en la definición de una unidad de energía, la caloría. que se definió originalmente como la energía necesaria par elevar la temperatura de un gramo de agua en 1°C.

Aquí, como en los casos anteriores, tanto el agua utilizada en las mediciones correspondientes, como la presión a la que está sometida deben cumplir determinadas condiciones para evitar eventuales fluctuaciones indeseadas.

Actividades

1. Mariano afirma que él puede medir la masa de una cierta cantidad de agua con una probeta graduada. ¿Qué opinas?

2. El ser humano está constituido, en un alto porcentaje, por agua. Por tal razón, su densidad es bastante similar a la del agua. ¿Podrías usar esta información para calcular cuál es aproximadamente tu volúmen?

3. Con frecuencia se ha utilizado al agua como estándar para definir algunas unidades de medida. ¿Qué explicación darías a este hecho?

Escaneado con CamScanner

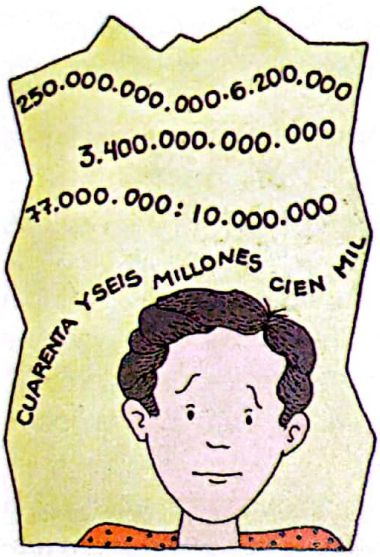


Fig. 1.30

LA NOTACIÓN CIENTÍFICA

Las potencias de diez

Operar con números muy grandes es incómodo. A veces, incluso, es difícil leer un número demasiado grande. Sin embargo, dado que nuestro sistema de numeración está construido en base diez, las operaciones con potencias de diez son extremadamente fáciles. Por tal motivo, resulta muy útil emplear potencias de diez al escribir y operar con números grandes.

Nos familiarizaremos con ellas para efectuar en forma simple operaciones que suelen ser largas y engorrosas.

Como tú sabes de tus clases de Matemáticas, una "potencia" es una forma abreviada de escribir una multiplicación reiterada de un número por sí mismo.

Así, la potencia 3^5 representa una multiplicación en que el factor "3" aparece 5 veces.

Es decir: $3^5 = 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3$

Por lo tanto: $3^5 = 243$.

De igual manera:

$$5^2 = 5 \cdot 5 = 25$$
$$10^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1\,000$$
$$10^5 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 100\,000$$

En la potencia 3^5, el 3 recibe el nombre de base y representa el número que se multiplica reiteradamente por sí mismo. El 5 es el exponente y representa el número de veces que se repite la base.

De acuerdo con esto, la potencia de diez 10^n es una multiplicación en que el factor 10 se repite n veces.

Resulta conveniente, asimismo, considerar la expresión 10^1 como una potencia de diez cuyo valor es: $10^1 = 10$.

Es fácil ver que el numeral que representa a una potencia de diez es siempre un 1 seguido de ceros.

Es más, el número de ceros coincide exactamente con el exponente de la potencia de diez. En la Tabla 1.2 se dan las primeras potencias de diez con su equivalencia.

Para leer potencias de diez, mayores que un millón, recordemos que, en español, un millón de millones (es decir, 10^{12}) recibe el nombre de un billón, en tanto que un millón de billones (es decir, 10^{18}) recibe el nombre de "un trillón".

En algunos países, el término billón se emplea para referirse a mil millones; es decir, a 10^9. Por este motivo, es conveniente tener cuidado al leer o efectuar traducciones.

Escaneado con CamScanner

Tabla 1.2

ALGUNAS POTENCIAS DE DIEZ Y SU EQUIVALENCIA

10^1	=	10	(1 seguido de 1 cero)
10^2	=	100	(1 seguido de 2 ceros)
10^3	=	1 000	(1 seguido de 3 ceros)
10^4	=	10 000	(1 seguido de 4 ceros)
10^5	=	100 000	(1 seguido de 5 ceros)

Operaciones con potencias de diez

Bien sabemos que el valor que representa una cifra en un numeral depende de su posición.

Así, por ejemplo, en el numeral 35.2 la cifra 3 está en el segundo lugar a la izquierda del punto y su valor corresponde a 30 unidades. La cifra 5 está en el primer lugar a la izquierda del punto y su valor corresponde a 5 unidades. La cifra 2 se encuentra en el

Fig. 1.31.Quién tiene la razón?

Tabla 1.3

VALOR DE CADA CIFRA EN EL NUMERAL 35.2

Cifra	Posición	Valor
3	Segundo lugar a la izquierda del punto	30
5	Primer lugar a la izquierda del punto	5
2	Primer lugar a la derecha del punto	0.2

Escaneado con CamScanner

primer lugar a la derecha del punto y su valor corresponde a 0.2 unidades.

Si desplazamos el punto un lugar hacia la izquierda, obtenemos el numeral 3.52. Las cifras tienen ahora las posiciones y valores que se indican en la tabla 1.4.

Tabla 1.4

VALOR DE CADA CIFRA EN EL NUMERAL 3.52

Cifra	Posición	Valor
3	Primer lugar a la izquierda de la coma	3
5	Primer lugar a la derecha de la coma	0.5
2	Segundo lugar a la derecha de la coma	0.02

Al variar la posición de las cifras con respecto al punto, cambia el valor que ellas representaban. Cada cifra representa ahora un valor diez veces menor que el que representaba inicialmente. El solo hecho de desplazar el punto hacia la izquierda ha significado dividir el número por 10.

Si ahora, en el numeral original, desplazamos el punto tres lugares hacia la derecha, obtenemos el numeral 35 200. El punto ha quedado a la derecha del último cero. Como no hay cifras a la derecha del punto, no es necesario escribirla.

Las posiciones y valores de cada cifra son ahora las siguientes:

Desplazar el punto tres lugares hacia la derecha, ha significado multiplicar el número por 1 000.

Mediante un razonamiento similar es posible establecer las siguientes reglas generales:

Tabla 1.5

VALOR DE CADA CIFRA EN EL NUMERAL 35 200

Cifra	Posición	Valor
3	Primer lugar a la izquierda del punto	30 000
5	Primer lugar a la derecha del punto	5 000
2	Segundo lugar a la derecha del punto	200

Escaneado con CamScanner

Multiplicar un número por una potencia de diez

Para multiplicar un número por una potencia de diez, basta desplazar el punto hacia la derecha. El número de lugares que se desplaza el punto es igual al número de ceros que tiene la potencia de diez.
Ejemplo: $43 \cdot 104 = 430\,000$

Dividir un número por una potencia de diez

Para dividir un número por una potencia de diez, basta desplazar la coma hacia a la izquierda. El número de lugares que se desplaza la coma es igual al número de ceros que tiene la potencia de diez.
Ejemplo: $43 : 104 = 0{,}0043$

Actividades

1. Escribe el valor, e indica el nombre de cada una de las siguientes potencias de diez:

(a) 10^1
(b) 10^7
(c) 10^{10}
(d) 10^{12}

2. Escribe como potencia de diez cada una de los siguientes números:

(a) 10 000 000 000
(b) 100 000 000 000 000 000
(c) diez
(d) cien mil millones

3. Escribe directamente el resultado de las siguientes operaciones:

(a) $23.5 \cdot 10^4$
(b) $0.037 \cdot 10^2$
(c) $7.2 : 10^5$
(d) $86\,000 \cdot 10^3$
(e) $5\,020 : 10^7$
(f) $13 : 10^2$

Escaneado con CamScanner

4. Escribe directamente el resultado de las siguientes operaciones:

a) $3.88 \cdot 100\,000$
b) $0.071 \cdot 100$
c) $4.9 : 1\,000$
d) $5\,800 \cdot 10\,000$
e) $0.0094 : 10\,000$
f) $99 : 100$

5. Escribe directamente el resultado de estas operaciones:

a) $4.62 : 10$
b) $81.5 \cdot 103$
c) $0.00891 \cdot 1000$
d) $0.0000093 : 105$
e) $0.003096 : 1000$
f) $4.10 \cdot 102$

6. Determina el resultado de las operaciones siguientes:

(a) $102 \bullet 105$
(b) $103 \bullet 103$
(c) $104 \bullet 102 \cdot 106$
(d) $108 : 102$
(e) $104 : 103$
(f) $108 : 107.$

7. Determina el resultado de las operaciones siguientes:

a) $100 \cdot 100$
b) $10\,000\,000 : 100\,000$
c) $100 \bullet 10 \cdot 10\,000$
e) $(100\,000)2 : 10\,000$

8. (a) Establece una regla general para multiplicar potencias de diez entre sí.
b) Establece una regla general para dividir potencias de diez entre sí.

9. Simplifica las fracciones siguientes:

a) $\dfrac{10^6}{10^5}$

(b) $\dfrac{10^7}{10^2}$

(c) $\dfrac{10^3 \bullet 10^4}{10^5}$

(d) $\dfrac{10^9 \bullet 10}{10^6 \bullet 10^3}$

Escaneado con CamScanner

10. Efectúa estas operaciones con ayuda de potencias de diez:

a) $10\,000\,000 : 100$

b) $\dfrac{10\,000 \cdot 100}{100\,000}$

c) $\dfrac{100 \cdot 1\,000^2}{10 \cdot 10\,000}$

11. Sin efectuar cálculos, encuentra el valor de x que satisface cada una de estas ecuaciones:

(a) $8.23\,x = 823$
(b) $0.0091\,x = 910$
(c) $0.000038\,x = 3.8$
(d) $0.027\,x = 2700$

12. Sin efectuar cálculos, encuentra el exponente de la potencia de diez en cada caso:

(a) $36\,000 = 3.6 \cdot 10^x$
(b) $8\,400\,000 = 8.4 \cdot 10^x$
(c) $552 = 5.52 \cdot 10^x$
(d) $150\,000\,000 = 1.5 \cdot 10^x$

La notación científica

Para escribir en forma abreviada, números muy grandes o muy pequeños y poder operar con ellos más fácilmente, se ha introducido la llamada notación científica.

En la actividad 12 hemos expresado diversos números en la forma:

$$a \cdot 10^n$$

en que "a" es un número comprendido entre 1 y 10, y 10^n es una potencia de diez.

Llamamos notación científica a esta forma de escribir un número.

Es decir, expresar un número en notación científica significa escribirlo como un producto de un número entre 1 y 10, y una potencia de diez.

De acuerdo con esto, los números expresados en notación científica tienen la forma $a \cdot 10^n$, con $0 \leq a < 10$.

Así, por ejemplo, el número 86 300 000 expresado en notación científica es:

$863 \cdot 107$.

De esta forma, cualquier número –especialmente aquellos que son muy grandes– puede expresarse en forma abreviadautilizando la notación científica.

Escaneado con CamScanner

Lo mismo puede hacerse con los números muy pequeños. Para ello necesitamos, sin embargo, emplear potencias de diez de exponente negativo, lo que veremos más adelante.

Operaciones con números grandes

Es posible que, al principio, la notación científica parezca sólo una complicación más. Pero, a medida que uno se familiariza con ella, va percibiendo sus numerosas ventajas.

Desde luego, una mirada al exponente de la potencia de diez es suficiente para tener una idea de lo grande del número.

Asimismo, en el caso de números muy grandes, las operaciones con ayuda de la notación científica resultan mucho más simples que si se expresan los números en su forma original.

Para operar con ayuda de la notación científica, procedemos de la siguiente manera:

Cómo operar con ayuda de la notación científica

1. Expresa en notación científica los números que se quiere multiplicar o dividir.
2. Reordena los factores agrupando, por una parte, los coeficientes numéricos y, por otra, las potencias de diez.
3. Efectúa separadamente las operaciones con los coeficientes y con las potencias de diez.

Fig. 1.32

Veamos un par de ejemplos:

Ejemplo 1

Supongamos que se desea efectuar el producto:

250 000 000 • 300 000

¿Cuál es el primer paso, según el procedimiento que hemos indicado?

–Escribir los número en notación científica: $2.5 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^5$

¿Cuál es el segundo paso?

–Reordenar los factores: $2.5 \,.\, 3 \cdot 10^8 \cdot 10^5$

¿Cuál es el tercer paso?

–Efectuar separamente las operaciones: $7.5 \cdot 10^{13}$

Por lo tanto: $250\,000\,000 \cdot 300\,000 = 7.5 \cdot 10^{13}$

Ejemplo 2

Supongamos que se desea determinar el valor de la expresión:

Escaneado con CamScanner

$$\frac{160\,000 \cdot 500\,000\,000}{(20\,000)^2}$$

Primer paso: $$\frac{1{,}6 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^8}{(2 \cdot 104)^2}$$

Segundo paso: $$\frac{1.6 \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot 10^8}{22 \cdot (10^4)^2}$$

Tercer paso: $$\frac{1.6 \cdot 5}{22} \cdot \frac{10^5 \cdot 10^8}{(10^4)^2} = 2 \cdot 10^5$$

Por lo tanto: $$\frac{160\,000 \cdot 500\,000\,000}{(20\,000)^2} = 2 \cdot 10^5$$

Actividades

1. Expresa en notación científica:
a) el número de alumnos de tu colegio,
b) el número de habitantes del país,
c) el número de habitantes de América Latina,
d) el número de habitantes de la Tierra.

2. Expresa en notación científica:
a) el volumen de la Tierra (1 070 000 000 000 000 000 000 m^3),
b) el volumen del Sol (1 400 000 000 000 000 000 000 000 000 m^3),
c) el volumen de la Luna (22 000 000 000 000 000 000 m^3).

3. Escribe estos valores en notación científica:
a) 40 300 000 m^3
b) 88 m/s
c) 17 000 mm

4. ¿Qué números representan las siguientes expresiones?
(a) $4.2 \cdot 10^5$
(b) $3 \cdot 10^8$
(c) $1.99 \cdot 10^{30}$

Escaneado con CamScanner

5. Resuelve las siguientes operaciones:

a) $4 \cdot 10^7 \cdot 1.1 \cdot 10^8$

b) $7 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^9$

c) $$\frac{8.1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^7}{9 \cdot 10^9}$$

d) $$\frac{1.2 \cdot 10^8 \cdot 1.6 \cdot 10^3}{4.8 \cdot 10^3}$$

6. Efectúa las siguientes operaciones:

a) $$\frac{20\,000 \cdot 70\,000}{400}$$

b) $$\frac{360\,000 \cdot 200^2}{600 \cdot 100}$$

c) $3\,000\,000^3$

d) $$\frac{80\,000 \cdot 20\,000^3}{20 \cdot 16\,000}$$

7. La masa del Sol es 2 • 1030 kg. La masa de la Tierra es 6 • 1024 kg. ¿Cuántas veces mayor es la masa del Sol que la masa de la Tierra?

8. En Astronomía se utiliza con frecuencia el año-luz como unidad de distancia. Un año-luz es la distancia que recorre la luz en un año, viajando con una velocidad de 300 000 000 m/s. Un año equivale a unos 32 000 000 s. De acuerdo con esto, ¿aproximadamente a cuántos metros equivale un año-luz?

Las potencias de diez de exponente negativo

Los ejemplos que hemos visto muestran que las potencias de diez con exponentes positivos pueden ser de gran utilidad para tratar con números grandes. Nuestros amigos matemáticos han inventado, asimismo, una forma de trabajar cómodamente con números muy pequeños: se trata de las potencias de exponente negativo.

Escaneado con CamScanner

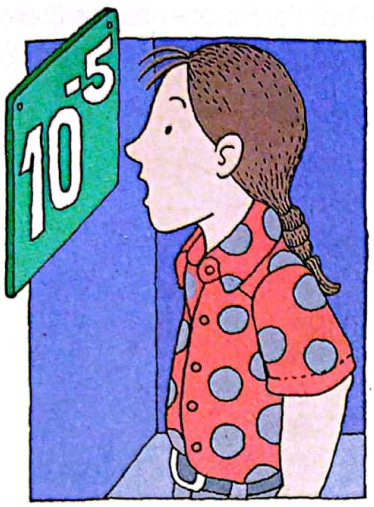


Fig. 1.33

Sabemos que las potencias de exponente positivo tienen un significado bastante simple. Así, por ejemplo, 10^5 significa, simplemente, un producto en que el factor 10 aparece 5 veces.

Es decir, $10^5 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10$

Pero, ¿qué podría significar la expresión 10^{-5}?

Evidentemente, si queremos aceptar la existencia de este tipo de potencias, no podremos seguir aplicando la misma definición anterior.

Felizmente, existe una interesante posibilidad, que surge de adoptar la definición:

De acuerdo con esta definición, las primeras potencias con exponente negativo tienen los valores que se indican en la tabla 1.6.

Puede que esta definición te parezca un tanto extraña. Pero su gran ventaja consiste en que ella permite aplicar también a las potencias de exponente negativo las reglas de multiplicación y división de potencias que hemos visto anteriormente.

Potencias de diez de exponente negativo

Definición:

$$10^{-n} = \frac{1}{10^n}$$

Es decir, para multiplicar potencias de diez, ya sea con exponente positivo o exponente negativo, basta sumar sus exponentes. Sólo hay que tener cuidado que se trata aquí de una suma algebraica.

Tabla 1.6

ALGUNAS POTENCIAS DE DIEZ DE EXPONENTE NEGATIVO Y SU EQUIVALENCIA

$10^{-1} =$	0.1	(un 1 ubicado 1 lugar después del punto)
$10^{-2} =$	0.01	(un 1 ubicado en 2 lugar después del punto)
$10^{-3} =$	0.001	(un 1 ubicado en 3 lugar después del punto)
$10^{-4} =$	0.0001	(un 1 ubicado en 4 lugar después del punto)
$10^{-5} =$	0.00001	(un 1 ubicado en 5 lugar después del punto)

Escaneado con CamScanner

A su vez, para dividir potencias de diez, ya sea que ellas tengan exponente positivo o exponente negativo, basta restar sus exponentes. Una vez más, debemos tener cuidado con los signos de cada exponente.

Ejemplo 1

Supongamos que se desea efectuar la multiplicación:

$10^2 \cdot 10^{-5}$

De acuerdo con la regla que acabamos de dar, tendríamos:

$$10^2 \cdot 10^{-5} = 10^2 + (-5) = 10^{-3}$$

Ejemplo 2

Supongamos,ahora, que se desea efectuar la división:

$10^2 : 10^{-5}$

De acuerdo con nuestra regla, tendremos:

$$102 : 10^{-5} = 10^2 - (-5) = 10^3$$

Ejemplo 3

Consideremos la siguiente división:

$10^8 : 10^8$

Se trata de dividir un número por sí mismo. En tales casos, el resultado tiene que ser 1. Pero, ¿qué sucede si aplicamos la regla de división de potencias? Veamos:

$$10^8 : 10^8 = 10^{8-8} = 10^0$$

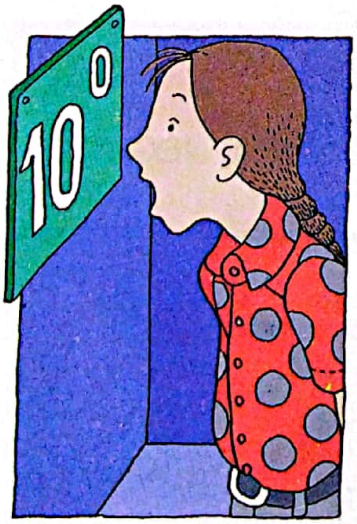
Esto sugiere una nueva definición:

Potencias de diez de exponente cero

Definición:

$$10^0 = 1$$

Fig. 1.34



Actividades

1. Escribe como potencia de diez cada una de los siguientes números:

a) 0.000 000 01

b) 0.000 000 000 000 001

Escaneado con CamScanner

c) 1
d) un décimo
e) un diezmilésimo

2. a) Establece una regla general para multiplicar un número por una potencia de diez de exponente negativo.

b) Establece una regla general para dividir un número por una potencia de diez de exponente negativo.

3. Escribe directamente el resultado de las siguientes operaciones:

a) $32.7 \cdot 10^{-4}$
b) $0.049 \cdot 10^{-2}$
c) $9.1 : 10^{-5}$
d) $66\,000 \cdot 10^{-3}$
e) $8\,040 : 10^{-7}$
f) $10 : 10^{-2}$

4. Escribe directamente el resultado de las siguientes operaciones:

a) $4.81 \cdot 0.000\,01$
b) $0.037 \cdot 0.001$
c) $9.4 : 0.000\,001$
d) $1\,600 \cdot 0.1$
e) $0.0028 : 0.000\,1$
f) $99 : 0.001$

5. Escribe directamente el resultado de estas operaciones:

a) $4.62 : 10^{-2}$
b) $8.,5 \cdot 10^{-3}$
c) $0.0000093 : 10^{-5}$

6. Determina el resultado de las operaciones siguientes:

a) $10^{2} \cdot 10^{-7}$
b) $10^{-5} \cdot 10^{3}$
c) $10^{-4} \cdot 10^{-7} \cdot 10^{6}$
d) $10^{8} : 10^{-2}$
e) $10^{-4} : 10^{3}$
f) $10^{-8} : 10^{-5}$

7. Simplifica las fracciones siguientes:

a) $\dfrac{10^{6}}{10^{-5}}$

Escaneado con CamScanner

b) $\dfrac{10^{-7}}{10^{-2}}$

c) $\dfrac{10^{3} \cdot 10^{-4}}{10}$

8. Sin efectuar cálculos, encuentra el exponente de la potencia de diez en cada caso:

a) $0.0059 = 5.9 \cdot 10^{x}$

b) $0.000\ 000\ 03 = 3 \cdot 10^{x}$

c) $0.0065 = 6.5 \cdot 10^{x}$

9. Como se puede apreciar en los últimos ejercicios, también es posible expresar en notación científica números pequeños. Expresa en notación científica los siguientes valores:

a) la masa de un electrón (0.000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 91 kg),

b) el radio de un átomo de hidrógeno (0.000 000 000 053 m),

c) el diámetro de un cabello (0.09 mm).

10. Encuentra el valor de otras magnitudes muy pequeñas y exprésalas en notación científica.

Escaneado con CamScanner

EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

En un esfuerzo por simplificar y unificar el uso de unidades de medida, en la 11a. Conferencia General de Pesas y Medidas, celebrada en 1960, se estableció el Sistema Internacional de Unidades. Para referirse a él, es común emplear la abreviatura SI.

El SI ha sido adoptado por la mayor parte de los países, entre ellos México. Por eso, conviene conocer algunos de sus rasgos.

La información que se da en este apartado te permitirá disponer de una útil fuente de información referente al Sistema Internacional. No se justifica tratar de memorizarla. Basta saber que podrás acudir aquí cuando lo necesites.

Unidades fundamentales

El SI se construye sobre la base de un conjunto de unidades fundamentales. La lista de estas unidades fundamentales, así como su nombre y símbolo, se muestran en la tabla 1.7.

Tabla 1.7

UNIDADES FUNDAMENTALES EN EL SI

Magnitud	Nombre	Símbolo
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
temperatura	kelvin	K
intensidad de la corriente eléctrica	ampere	A
intensidad luminosa	candela	cd
cantidad de sustancia	mol	mol
ángulo plano*	radián	rad
ángulo sólido*	estereoradián	sr

* Las unidades de ángulo plano y ángulo sólido pueden considerarse como unidades fundamentales o como unidades derivadas.

Escaneado con CamScanner

Múltiplos y submúltiplos de las unidades fundamentales

Para obtener múltiplos o submúltiplos de cualquiera de las unidades fundamenales, basta multiplicar o dividir la unidad por una potencia de 10.

Así, por ejemplo, se construye un submúltiplo del metro dividiendo esta unidad en 102 partes iguales.

La unidad resultante, como tú bien sabes, recibe el nombre de centímetro.

Este nombre se ha obtenido anteponiendo el prefijo "centi" a la palabra metro.

De modo que:

$$1\ \text{cm} = \frac{1}{10^2}\ \text{m}\ .$$

Otros prefijos y su correspondiente significado se reproducen en las tablas 1.8 y 1.9.

Tabla 1.8

PREFIJOS PARA LOS MÚLTIPLOS DE LAS UNIDADES FUNDAMENTALES

Factor	Prefijo	Símbolo
10^{12}	tera	T
10^{9}	giga	G
10^{6}	mega	M
10^{3}	kilo	k
10^{2}	hecto	h
10^{1}	deca	da

Escaneado con CamScanner

Tabla 1.9

PREFIJOS PARA LOS SUBMÚLTIPLOS DE LAS UNIDADES FUNDAMENTALES

Factor	Prefijo	Símbolo
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	-
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

Actividades

1. Completa la tabla 1.10 con los nombres y equivalencias de cada uno de los múltiplos y submúltiplos del metro.

2. Construye una tabla similar para múltiplos y submúltiplos del "s" y otro para

Tabla 1.10

ALGUNOS MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DEL METRO

Símbolo	Nombre	Equivalencia
Tm	terámetro	i Tm = 10^{12} m
Gm		
Mm		
km		
cm		
mm		
-m		
nm		
pm		

Escaneado con CamScanner

múltiplos y submúltiplos del kg.

3. Expresa en la correspondiente unidad fundamental del Sistema Internacional cada uno de los valores que se reproducen a continuación:

a) Radio de la Tierra: 6 368 km
b) Distancia entre la Tierra a la Luna: 380 mil kilómetros
c) Distancia entre la Tierra y el Sol: 150 millones de km
d) Diámetro de un cabello humano: 800 a 900 μm
e) Diámetro de un virus: entre 20 y 250 nm
f) Tiempo que demora una mosca en batir sus alas una vez: 1 ms
g) Tiempo que demora la luz en atravesar una habitación 10 ns
h) Tiempo que demora un electrón en girar en torno al protón en un átomo de hidrógeno: 1 fs

4. Expresa tu estatura en alguna de las unidades dadas en la tabla 1.10.

Unidades derivadas

A partir de las unidades fundamentales, es posible obtener unidades para un gran número de otras magnitudes, mediante el simple procedimiento de combinar algebraicamente las unidades fundamentales.

De esta forma, por ejemplo, se obtienen unidades que tú ya conoces: para la velocidad (m/s), para el área (m^2), para el volumen (m^3), para la densidad (kg/m^3), etc.

A algunas de las unidades derivadas se les ha asignado nombre propio en homenaje a hombres de ciencia que se han destacado especialmente en determinados campos de la Física.

Tabla 1.11

EJEMPLO DE UNIDADES DERIVADAS

Magnitud	Nombre	Símbolo
área		m^2
volúmen		m^3
velocidad		m/3
densidad		kg/m^3
frecuencia	hertz	Hz
fuerza	newton	N
energía, trabajo, calor	joule	J
potencia	watt	W
carga eléctrica	coulomb	C
diferencia de potencial	volt	V
resistencia eléctrica	ohm	

Escaneado con CamScanner

La tabla 1.11 muestra algunos ejemplos de unidades derivadas. Es posible que varias de las magnitudes mencionadas en este cuadro sean desconocidas para ti. No te preocupes. Ya tendremos ocasión de familiarizarnos con ellas más adelante.

Actividades

1. (a) ¿Qué otras unidades de área conoces, además de la que se presenta en la tabla 1.11? Averigua su equivalencia en unidades SI.
b) ¿Qué otras unidades de volumen conoces? Averigua su equivalencia en unidades SI.
c) ¿Qué otras unidades de velocidad conoces? Averigua su equivalencia en unidades SI.
d) ¿Qué otras unidades de energía conoces? Averigua su equivalencia en unidades SI.

Normas y recomendaciones acerca de la escritura de unidades

El Comité Internacional de Pesas y Medidas formula, asimismo, algunas recomendaciones relativas a la escritura del nombre y del símbolo de las diferentes unidades. Entre ellas, queremos destacar las siguientes:

- El nombre de las unidades se escribe siempre con minúsculas. (Ejemplos: metro, ampere, newton, etc.)

- En cuanto al símbolo , si no se deriva de un nombre propio, se utilizan letras minúsculas.
  (Ejemplos: m, kg, s, etc.)

  Si el símbolo se deriva de un nombre propio, se utilizan letras mayúsculas para la primera letra.
  (Ejemplos: N, J, Hz, etc.)

- Los símbolos no van seguido de puntos y no cambian en plural.

- El producto de dos unidades se indica, de preferencia, mediante un punto. El punto puede omitirse si no hay peligro de confusión.
  (Ejemplo: el producto de newton por metro puede simbolizarse como N • m o N m. Pero no convendría utilizar el símbolo "m N" que podría ser interpretado como milinewton).
- Para expresar el cuociente entre dos unidades se puede usar un trazo inclinado, un trazo horizontal o potencias negativas.

Escaneado con CamScanner

FORMAS DE EXPRESAR EL CUOCIENTE ENTRE UNIDADES

Mediante un trazo inclinado	m/s
Mediante un trazo horizontal	$\frac{m}{s}$
Mediante potencias negativas	m/s^1

Empleo de unidades que no pertenecen al SI

El Comité Internacional de Pesas y Medidas reconoce, además, que ciertas unidades, aun cuando no forman parte del SI, se emplean con tanta frecuencia que es necesario conservarlas. La tabla 1.12 muestra algunas de estas unidades.

Tabla 1.12

UNIDADES QUE PUEDEN SER USADAS JUNTO CON EL SISTEMA INTERNACIONAL

Magnitud	Nombre	Símbolo	Equivalencias en unidades SI
tiempo	minuto	min	1 min = 60 s
tiempo	hora	h	1 h = 3 600 s
tiempo	día	d	1 d = 86 400 s
ángulo plano	grado	–	1 = (rd180)rad
ángulo plano	minuto	'	1' = (rd10800)rad
ángulo plano	segundo	"	1"=(rd648000)rad
volumen	litro	l	$1l = 10^{-3}m^3$
masa	tonelada	t	$1t = 10^3$ kg

Escaneado con CamScanner

Actividades

1. A continuación se mencionan algunas unidades de uso frecuente que han sido construidas con base en el producto o al cuociente entre otras unidades. En cada caso, indica cuáles son las unidades que están siendo multiplicadas o divididas.

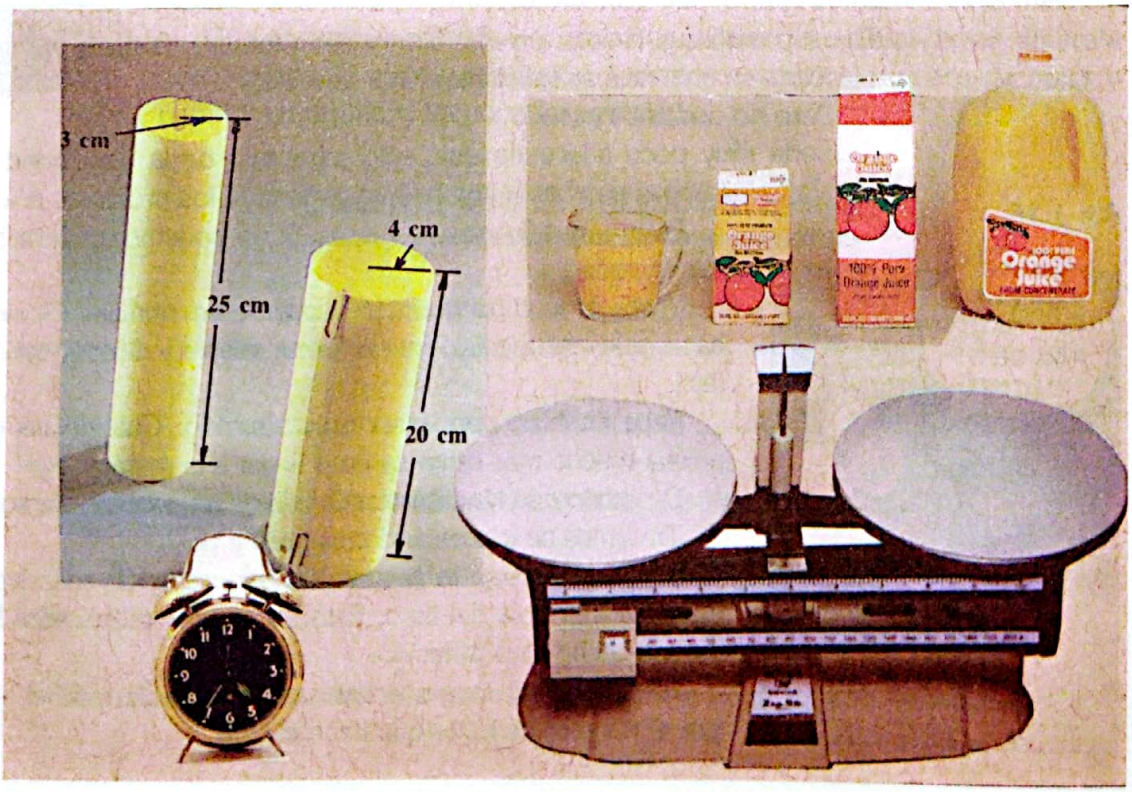
a) km/h
b) kW h
c) kg/m^3

2. a)Haz una lista con algunas otra unidades que tú conozcas y que no han sido mencionadas en el texto.

b) ¿Qué magnitud se mide en cada una de esas unidades?
c) ¿Cuál es la unidad SI en que se miden dichas magnitudes?
d) Averigua cuál es su equivalencia en unidades SI.

3. ¿Qué ventajas tiene haber acordado un sistema de unidades de validez internacional?

4. A pesar de las ventajas que significa adoptar el Sistema Internacional, en algunos países ello ha resultado una tarea muy difícil. ¿A qué atribuyes las dificultades que han surgido en dichos países cuando se ha intentado adoptar el SI?



Escaneado con CamScanner

MANOS A LA OBRA

Hemos hablado mucho acerca de la definición de unidades de medida, la estructuración de sistemas de unidades y otras temas relacionados con la medición.

Ahora ha llegado el momento de actuar. Es decir, ha llegado el momento de que realices algunas mediciones con tus propias manos.

¿Y qué te parece si empezamos con una medición que, a primera vista, podría parecer muy difícil?

He aquí nuestro desafío:

> Elige una fotografía en este texto que te guste especialmente.
> Ahora bien, lo que queremos pedirte es que detemines, por supuesto sin romper el libro, cuánto es la masa de esa fotografía. Es decir, se trata de encontrar la masa del trozo de papel en el que está impresa la fotografía.

Un primer paso

Por supuesto que la solución más simple sería tomar una tijera, recortar la fotografía y colocarla en una balanza suficientemente sensible.

Pero no podemos hacerlo.

Sería muy poco adecuado que, sólo para salir de la curiosidad, rompiéramos un texto que deberá acompañarnos durante los próximos 8 a 9 meses.

Fig. 1.35

Bueno, qué le vamos a hacer. Si no podemos ir derecho, tendremos que dar un rodeo.

Y esa es la situación más frecuente en ciencias. Si siempre pudiéramos hacer nuestras mediciones en forma simple y directa, todo sería mucho más fácil.

Pero también podría ser muy aburrido. Cuando las cosas son difíciles, resulta mucho más estimulante el llegar a la meta.

De modo que tendremos que utilizar un procedimiento indirecto.

Tratemos de ir acercándonos paso a paso.

Por ejemplo, en un proceso de aproximación sucesiva, determinemos la masa de una hoja del libro. Esto no es tan complicado. En otras ocasiones hemos hecho algo parecido.

Bastará medir, con una balanza, la masa de todo el libro, y luego dividir por el número de hojas que tiene el libro.

Escaneado con CamScanner

UNA PRIMERA MEDICIÓN
LA MASA DE UNA HOJA DEL LIBRO

1. Mide la masa del libro con ayuda de una balanza.
2. Determina cuántas hojas tiene el libro.
3. Calcula la masa de cada hoja.

Bien. Algo hemos avanzado. Estamos más cerca de la meta, pero no hemos llegado a ella.

Fig. 1.36

Sin embargo, antes de continuar, conviene discutir brevemente el resultado obtenido.

Tal vez ya pensaste en que la existencia de las portadas constituye un problema. Las portadas tienen una masa que desconocemos, pero es evidente que difiere de la masa de cada hoja.

Para encontrar una salida sin romper el libro, podemos formular algunas suposiciones que introducen cierto margen de incertidumbre, pero que simplifican la situación.

La suposición más sencilla consiste en considerar que la diferencia de material entre las portadas y el resto de las hojas es poco significativa, dado el hecho de que el libro tiene sólo dos portadasy más de un centenar de hojas. Por lo tanto, bastará considerar cada portada como una hoja más.

Una segunda posibilidad es tratar de estimar a cuántas hojas equivale una portada. Con esta estimación podemos corregir el número de hojas y obtener un resultado un poco más preciso.

CORRIGIENDO EL VALOR OBTENIDO

1. Para comenzar, determina la masa de una hoja sobre la base de la primera suposición. Es decir, considerando que la tapa es una hoja más.

2. (a) Formula una estimación acerca de cuántas hojas equivalen a una tapa.
   (b) Rehaz el cálculo, basándote ahora en esta segunda suposición.

3. Compara los dos resultados. ¿Aproximadamente en cuánto por ciento difieren ambos valores?

4. ¿Cuál sería tu nuevo valor para la masa de una hoja del libro?

Escaneado con CamScanner

Actividades

1. ¿Te parece razonable el resultado que obtuviste?

2. ¿Coincide con el obtenido por otros alumnos? Si hay diferencias, ¿a qué podrías atribuirlas?

3. Discute con los demás compañeros y concuerda en un valor común. Después de todo, lo más probable es que todos los libros sean iguales.

4. Resume la situación: ¿Qué hemos obtenido hasta el momento? ¿Qué resta aún por hacer?

En demanda de la meta

Todavía no hemos llegado, pero ya estamos muy cerca.

Tenemos un valor para la masa de toda una hoja del texto. Y lo que nos piden es la masa de una parte de una hoja.

Es muy posible que tú ya tengas una estrategia para dar este último paso.

Si no la tienes, he aquí dos ideas que pueden ayudarte:

1. La proporción entre la masa de la fotografía y la masa de la hoja total debería ser igual que la proporción entre la superficie ocupada por la fotografía y la superficie de toda la hoja.

2. Podríamos determinar la densidad de superficie del papel, es decir, la masa por unidad de supericie. Medir luego la superficie ocupada por la fotografía y, a partir de allí, determinar su masa.

DETERMINACIÓN DEL VALOR PEDIDO

1. Diseña un procedimiento para determinar la masa de la fotografía, basándote en las sugerencias dadas o a través de otro procedimiento de tu invención.
2. Calcula la masa de la fotografía.
3. Compara tu resultado con el obtenido por otros compañeros, considerando que pueden haber elegido una fotografía diferente. ¿Te parecen razonables los valores obtenidos?
4. Si hay algún valor claramente discordante, discute colectivamente a qué podría deberse la diferencia.
5. Ahora estás en condiciones de dar una respuesta al problema original. Hazlo.

Escaneado con CamScanner

¿Mientras más exacto, mejor?

Es hora de hacer un breve alto en el camino para conversar sobre un tema que no conviene seguir postergando.

Al determinar la masa de una hoja, nos encontramos con un problema: las portadas están hechas de un papel más grueso que el resto del libro. Para resolver esta situación, propusimos dos posibilidades. Una de ellas consistía, simplemente, en ignorar la diferencia entre portadas y hojas, y considerar cada portada como una hoja más. La segunda consistía en hacer una estimación acerca de cuántas hojas aproximadamente equivalen a una portada.

El segundo valor está, indudablemente, más cerca del "valor correcto". Pero posiblemente no es todavía "totalmente correcto".

Podríamos seguir buscando formas de aproximarnos cada vez más. La pregunta es si ello se justifica.

En los cálculos hechos con base en las dos suposiciones mencionadas, se obtuvieron resultados bastante parecidos. En verdad, la diferencia es de sólo unos pocos por ciento. ¿Tiene sentido intentar seguir refinando el procedimiento de medición? He aquí una pregunta que debemos enfrentar muchas veces.

Es más, es una pregunta a la que diariamente damos respuesta, sin darnos cuenta. Así, por ejemplo cuando alguien quiere conocer su estatura, no trata de obtener un valor con la máxima precisión posible, sino que procede a medir con una aproximación que considere adecuada a la situación.

Este es un tema de gran trascendencia para la buena comprensión del quehacer científico: el tema de la precisión con que debemos trabajar en la Física, en las demás ciencias o, incluso, en la vida cotidiana.

Fig. 1.37

Precisión posible y precisión deseable

Desde luego, conviene distinguir entre el nivel de precisión posible y el nivel de precisión deseable.

Aunque a primera vista parezca extraño, no siempre el objetivo es lograr la máxima precisión posible.

Más aun: se puede afirmar enfáticamente que muy rara vez el objetivo es lograr la máxima precisión posible.

Consideremos un ejemplo cotidiano. Con un poco de paciencia, tú puedes calcular tu edad con una precisión de un día. Además de la fecha exacta de tu nacimiento, deberás tomar en cuenta los años bisiestos que han transcurrido desde entonces hasta hoy.

Sin embargo, es difícil imaginar alguna situación real en la que resulte necesario conocer la edad con tal grado de precisión. Con muy escasas excepciones, el determinar la edad con una precisión de un año es más que suficiente.

Escaneado con CamScanner

¿Con qué precisión trabajar?

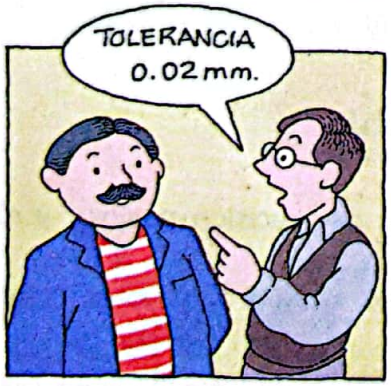
En las ciencias, así como en la tecnología, la precisión con que se trabaja depende de varios factores. Analicemos brevemente algunos de ellos.

I. En primer lugar, la precisión está condicionada por los objetivos que se tenga en mente.

Los ingenieros han introducido, en este sentido, el concepto de tolerancia para indicar el margen de exactitud dentro del cual se puede uno mover sin afectar el objetivo que se desea alcanzar.

Supongamos, a modo de ejemplo, que el diseñador de una máquina solicita al taller mecánico la fabricación de una esfera de metal de 7 mm de diámetro. Supongamos, asimismo, que el diseñador sabe que el valor del diámetro no es muy crítico, de modo que una tolerancia de 1 a 2 mm es perfectamente aceptable. Es decir, no habría problemas, si el diámetro de la esfera varía entre 5 mm y 9 mm.

Fig. 1.38



Si no comunica esta información al taller, el maestro puede dedicar mucho tiempo a tratar de lograr una gran precisión en el diámetro de la esfera. Sería un esfuerzo totalmente inútil.

Puede darse, asimismo, la situación inversa: el diseñador espera que el diámetro de la esfera sea extraordinariamente preciso, con una tolerancia, por ejemplo, de no más de 0.02 mm. Pero en el taller, por falta de información adecuada, se elabora una esfera de 6.9 mm . El valor es muy cercano al pedido, sin embargo, la esfera fabricada no servirá.

La precisión con que trabajemos debe estar en concordancia con los objetivos que se desea alcanzar.

Es negativo trabajar con menos precisión de la necesaria.

Pero también es negativo trabajar con más precisión de la necesaria.

II. Un segundo factor que influye en la precisión con que se trabaje son las limitaciones propias de los instrumentos y procedimientos de medición utilizados.

Si estamos midiendo longitudes con una regla graduada común, aunque nos esforcemos mucho, no podremos determinar la longitud de un objeto con una precisión de un centésimo de milímetro. Incluso, una precisión de un décimo de milímetro es bastante discutible.

Todas las mediciones que realicemos con esta regla tendrán, necesariamente, una incerteza del orden de 0.1 mm a 0.2 mm.

Escaneado con CamScanner

Si necesitamos mayor precisión, la única alternativa es cambiar el instrumento de medición.

Pero, cualquiera que sea el instrumento utilizado y cualquiera que sea el procedimiento de medición empleado, el resultado tendrá siempre, necesariamente, un cierto grado de imprecisión.

Toda medición tiene, inevitablemente, un cierto margen de incerteza.
Podemos hacer esfuerzos por lograr que este margen sea cada vez más pequeño. Pero no podremos eliminarlo.

III. Un tercer factor que debemos tomar en cuenta al decidir con qué precisión vamos a efectuar una medición es el grado de indefinición que pueda tener la propia magnitud que estamos midiendo.

Así, por ejemplo, tiene poco sentido tratar de medir con gran precisión las dimensiones de un trozo de algodón. En efecto, si queremos ser muy precisos, tropezaremos con una dificultad insalvable: no está claro exactamente dónde empieza y exactamente dónde termina el trozo de algodón.

Algo similar sucede si tratamos de medir con gran precisión el tiempo que demora un péndulo en detenerse. El péndulo va deteniéndose poco a poco, pero resulta prácticamente imposible determinar el instante exacto en que deja de moverse.

La precisión del resultado de una medición depende del grado de indefinición que afecte a la magnitud que se está midiendo.

Actividades

1. a) Calcula tu edad con una incerteza no mayor de un día. Recuerda que no todos los meses tienen igual cantidad de días y que algunos años son bisiestos.

b) Repite el cálculo, pero esta vez suponiendo que todos los años tienen 365 días y que todos los meses tienen 30 días. ¿Cuánto por ciento es el error cometido al hacer estas simplificaciones?

2. Menciona algunas situaciones de la vida real que muestran que no siempre la búsqueda de la máxima precisión es lo más adecuado.

3. Menciona ejemplos extraídos de la vida real de objetos cuyos extremos son difusos, es decir, resulta difícil determinar exactamente dónde empiezan y dónde terminan.

Escaneado con CamScanner

TRANSFORMACIÓN DE UNIDADES

El uso de unidades no oficiales

La elección de una u otra unidad, en cada caso concreto, depende de varios factores, entre los cuales la tradición no es la menos importante. En este sentido, no es posible –ni conveniente– dar una regla general al respecto.

Es recomendable, en todo caso, tratar de mantenerse dentro del Sistema Internacional, de modo que se permita una adecuada comunicación de los resultados obtenidos o que se facilite la comparación con información proveniente de otras fuentes.

El empleo del Sistema Internacional, sin embargo, no debe ser considerado como un dogma inflexible.

De hecho, en muchas situaciones cotidianas, resulta cómodo medir distancias usando unidades de medida relativamente arbitrarias, es decir, unidades elegidas especialmente para la situación.

Medir una distancia en pasos o en cuartas es, a menudo, un procedimiento simple y rápido, y puede ser el más decuado en aquellos casos en los cuales la rapidez es más importante que la precisión.

Actividades

1. Es conveniente que tú sepas cuánto miden tu "paso" y tu "cuarta"
a) Diseña un procedimiento adecuado para medir tu "cuarta".
b) Lleva a cabo la medición, expresando el resultado en cm.
c) ¿Cuánto varía la longitud de tu cuarta si estiras la mano al máximo, en comparación con la mano estirada normalmente?

2. a) Compara la longitud de tu "cuarta" con la de tus compañeros de curso.
b) ¿Cuánto mide la cuarta de mayor longitud entre las personas que tú conoces?

3. Con la colaboración de un compañero o compañera de curso, mide cada uno de los siguientes pasos tuyos.
a) El paso normal, es decir, el paso que das cuando caminas en forma acostumbrada.
b) El paso más largo que puedas dar.
c El paso, cuando corres a gran velocidad.

4. a) Compara tu paso normal con el de tus compañeros y con el de otras personas conocidas.
b) ¿Qué factores crees tú que influyen en el largo del paso normal de una persona?
(c) Diseña y lleva a cabo un experimento para corroborar la suposición que acabas de formular.

5. Mide, a pasos, las dimensiones de la sala y expresa el resultado en unidades del sistema SI.

6. ¿Para qué rango de distancias consideras tú que la medición a pasos puede ser especialmente apropiada?

Escaneado con CamScanner

7. ¿A qué distancia, en metros, debe colocarse la pelota en un partido de fútbol para servir un lanzamiento penal?

Cambio de unidades

A pesar de los esfuerzos realizados para uniformar los sistemas de unidades, siguen existiendo diferentes unidades para medir una misma magnitud.

Así, por ejemplo, en situaciones prácticas, las longitudes se miden a veces en pulgadas, en millas, en años-luz, etc.

Esta diversidad de unidades constituye una dificultad que complica, a veces innecesariamente, la comunicación y la comparación de resultados.

Por tal razón, es conveniente disponer de un procedimiento relativamente simple para pasar de una unidad a otra cuando ello sea necesario.

Consideremos, a modo de ejemplo, un caso sencillo.

Ejemplo 1

Supongamos que se desea saber cuántos centímetros mide un clavo de 4 pulgadas.

Desde luego, un dato necesario es la equivalencia entre ambas unidades; es decir, saber a cuántos centímetros equivale una pulgada. Esta información ya la conocíamos anteriormente: 1 pulgada equivale a 2.54 cm.

Veamos, ahora, cómo procedemos para efectuar la transformación de unidades requerida.

El procedimiento que propondremos se basa en la siguiente idea:

Decir 4 pulgadas es equivalente a decir 4 veces 1 pulgada.

O sea:

4 pulgadas = 4 • 1 pulgada.

Ahora, todo lo que tenemos que hacer es reemplazar la expresión 1 pulgada por su equivalente .,54 cm.

He aquí todo el proceso:

$$\begin{aligned} 4 \text{ pulgadas} &= 4 \cdot 1 \text{ pulgada} \\ &= 4 \cdot 2.54 \text{ cm} \\ &= 10.16 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Por lo tanto, podemos afirmar que un clavo de 4 pulgadas mide poco más de 10 cm.

Este procedmiento puede emplearse también para el caso de unidades compuestas, como se ve en el ejemplo que sigue:

Ejemplo 2

¿A cuántos m/s equivale una velocidad de 50 km/h?

Según el procedimiento explicado más arriba:

$$90 \ \frac{\text{km}}{\text{h}} = 90 \ \frac{1 \text{ km}}{1 \text{ h}}$$

Escaneado con CamScanner

$$= 90 \cdot \frac{1000\ \text{m}}{3600\ \text{s}}$$

$$= \frac{90 \cdot 1000}{3600\ \text{s}}\ \frac{\text{m}}{}$$

$$= 25\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Actividades

1. Usando tus propias palabras y con ejemplos concretos, ¿podrías explicar el procedimiento para transformar unidades que se describe en el texto?

2. Empleando el procedimiento descrito, determina a cuántos cm^2 equivale 1 m^2.

3. Empleando el procedimiento descrito, determina a cuántos cm^3 equivale 1 m^3.

4. La unidad de presión en el sistema SI es el pascal (1 Pa). En la práctica, sin embargo, la presión del aire en las ruedas de un vehículo se mide generalmente en libras/pulgada^2

a) Averigua cuánto es la presión usual en las ruedas de un carro y expresa ese valor en "Pa". Para hacerlo, te será útil conocer las siguientes equivalencias:

1 Pa = 1 N/m.
1 libra = 4.45 N.
1 pulgada = 0.0254 m.

(Observación. La libra es, en realidad una unidad de masa. Equivale, por definición, exactamente a 0.453 592 37 kg. Sin embargo, en la técnica se la utiliza a veces como unidad de fuerza. Algo similar ocurre con otras unidades de masa, como el kg o la tonelada. Como unidad de fuerza, 1 libra equivale aproximadamente a 4.45 N).

b) Compara el valor obtenido con la presión atmosférica normal, que es de aproximadamente 100.000 Pa.

Escaneado con CamScanner

LA VELOCIDAD DE LECTURA EN VOZ ALTA

¿Te has fijado que algunas personas hablan más rápido que otras?

Pues bien, te invitamos a estudiar cuantitativamente esta situación.

Aprovecharemos la oportunidad para aplicar algunos de los conocimientos que hemos adquirido acerca de la medición, al mismo tiempo que averiguaremos algunos datos interesantes sobre el tema.

A continuación te proponemos una serie de experimentos al respecto.

Y seguramente tú mismo querrás realizar otros experimentos similares de tu invención.

Para determinar la velocidad de lectura de una persona se puede proceder ya sea midiendo el número de palabras que lee en un intervalo de tiempo dado o midiendo el tiempo que demora en leer un texto de extensión dada.

EXPERIMENTO 1

PRIMERA MEDICIÓN

Con la colaboración de un compañero, mide tu velocidad de lectura en voz alta, empleando cualquiera de los procedimientos propuestos. Conviene expresar el resultado en "palabras/min".

EXPERIMENTO 2

ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE PERSONA A PERSONA

1. Mide la velocidad de lectura para varios compañeros de curso.
2. Reúne los valores obtenidos por los demás alumnos.
3. Determina el valor medio y la mayor variación observada.
4. Formula una predicción respecto al tiempo que una persona cualquiera emplearía en leer un texto dado.
5. Verifica tu predicción con una persona extraña al curso.

EXPERIMENTO 3

ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD PARA UNA MISMA PERSONA

1. Lee en voz alta con la mayor velocidad posible, pero de modo que tus compañeros comprendan perfectamente lo que tú lees.
2. Mide esta velocidad máxima.

Escaneado con CamScanner

3. Ahora lee con máxima lentitud, pero manteniendo una fluidez de lectura aceptable.

4. Mide esta velocidad mínima.

5. Compara ambos valores entre sí y con el valor obtenido anteriormente para lectura normal.

NUEVOS EXPERIMENTOS

Diseña otros experimentos similares.

Por ejemplo, compara la velocidad de lectura en voz alta con la velocidad de lectura silenciosa, o con la velocidad de escritura.

O intenta medir la rapidez de lectura de un locutor de radio.

En fin, usa tu imaginación y formúlate preguntas que puedan resultar interesantes.

ESTIMACIONES Y MEDICIONES RÁPIDAS

Ya hemos visto que no siempre lo más importante, al efectuar una medición, es la precisión del resultado obtenido.

De hecho, en muchas profesiones, especialmente en aquellas de orientación tecnológica, es muy conveniente desarrollar la habilidad para encontrar en cada caso un adecuado compromiso entre precisión y rapidez.

En los siguientes experimentos se proponen algunos procedimientos rápidos para realizar mediciones.

A veces, para medir una distancia, una estimación a ojo es suficiente.

ESTIMACIÓN A OJO DE DISTANCIAS

1. Haz una estimación de la longitud de la sala.

2. Indica el rango de incerteza que tú atribuyes a tu estimación. Puedes hacerlo, usando la expresión "entre tanto y tanto", o la forma habitual "$a \pm \Delta a$".

3. Verifica tu estimación con una huincha de medir y evalúa críticamente tu capacidad de estimación.

4. Con la experiencia adquirida, haz una estimación del ancho y de la altura de la sala. rata de acercarte lo más posible al valor correcto y de que el rango de incerteza sea lo menor posible. Compare su valor con el dado por los demás compañeros. Son coincidentes? Son muy diferentes?

Escaneado con CamScanner

ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE UN RECINTO

1. Haz una estimación del número de personas que cabrían en la sala de clases para una sesión de video.
2. Se desea programar la presentación de una orquesta de rock al aire libre.
a) Elige un local adecuado en la escuela.
b) ¿Dónde ubicarías el escenario?
c) ¿En cuánto estimas el máximo de personas que podrían asistir al concierto, sin estropear los jardines y de modo que todos los asistentes pudieran ver el escenario?

Escaneado con CamScanner

LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS DE MEDICIÓN

Un mundo de imágenes

Vivimos en un mundo invadido por las imágenes gráficas.

La incorporación de la televisión a la vida cotidiana ha significado un fuerte aumento de la importancia que tiene la imagen en la comunicación de información. No cabe duda que una imagen televisiva proporciona mucho más información que el texto hablado que acompaña las noticias.

Por su parte, el arte de la publicidad ha desarrollado el poder de la imagen hasta grados casi increíbles.

También la ciencia hace uso de la imagen como forma de comunicación.

Basta hojear una revista científica para encontrar gran variedad de esquemas, fotografías y gráficos. En combinación con el texto escrito y con el lenguaje matemático, ellas constituyen una de las formas más típicas de entregar información científica.

Vale la pena, entonces, dedicar algunos minutos a hablar acerca del uso de la imagen, y en especial de los gráficos, en la comunicación científica.

Los ingredientes de la basura

El rápido aumento de la población y, en especial, su concentración en grandes ciudades, ha puesto en el orden del día el problema del tratamiento de la basura.

La cantidad de basura aumenta día a día.

Las razones de su aumento son variadas.

Desde luego, está aumentando la población, y por lo tanto cada día es mayor el número de personas, que consume productos y genera basura.

Por otra parte, debido al mejoramiento de las condiciones de vida, aumenta el consumo promedio de cada persona.

Influye, también, el uso de envases y envoltorios que acompañan a cada producto y que, una vez consumido el producto, pierden toda su utilidad.

Nos hemos acostumbrado a tirar a la basura todo lo que no nos sirve y que está molestando. Creemos que con ello queda resuelto el problema.

En verdad, ahí está empezando el problema.

En la ciudad de México la basura alcanza más de 18 millones de toneladas al año. Aproximadamente, dos kilos de basura diarios por habitante.

Esa basura no desaparece. Algo hay que hacer con ella. ¿Depositarla en vertederos especiales? ¿Incinerarla? ¿Transformarla? ¿Reciclarla?

En la mayor parte de los países, la basura doméstica está compuesta por los mismos ingredientes.

La tabla muestra la composición, en porcentaje, de la basura generada en el Distrito Federal.

Escaneado con CamScanner

Tabla 1.13

INGREDIENTES DE LA BASURA
(Valores promedios para el Distrito Federal)

Material	%
Desperdicio de alimentos	50
Papel	16
Metales	10
Vidrio	9
Textiles	5
Plásticos	4
Caucho y cuero	4
Madera	2

Con el fin de visualizar mejor la importancia de cada componente, podemos presentar la información contenida en la tabla mediante una imagen gráfica.

Es lo que hemos hecho en los gráficos 1.40, 1.41 y 1.42.

Los gráficos 1.40 y 1.41 son los típicos gráficos de barras. En ellos, la longitud de cada barra proporciona información sobre la cantidad correspondiente a cada categoría.

El gráfico 3 es también conocido como "gráfico circular". En este caso, la información sobre la cantidad correspondiente a cada categoría está dada por el área del respectivo sector circular.

Para dibujar un gráfico circular, debemos tener presente que el 100 % corresponde a todo el círculo, es decir, a un ángulo de 360 °. Por lo tanto, cada 1 % corresponde a un ángulo de 3,6 °.

Actividades

1. La tabla 1.14 muestra la composición de la basura en las grandes ciudades de países desarrollados.

a) Haz un gráfico de barras que permita comparar la composición de la basura en el Distrito Federal con la composición de la basura en las ciudades de países desarrollados.

b) Grafica la misma comparación, pero usando gráficos circulares.

2. Averigua la altura de algunos de los principales monumentos de los antiguos pobladores de nuestro suelo. Representa esos datos con ayuda de un gráfico de barras. Incluye, a modo de comparación, una barra que represente la altura del edificio más alto de la ciudad de México.

3. Mariano propone representar los datos de la actividad 2 mediante un gráfico circular. ¿Qué opinas tú?

Escaneado con CamScanner

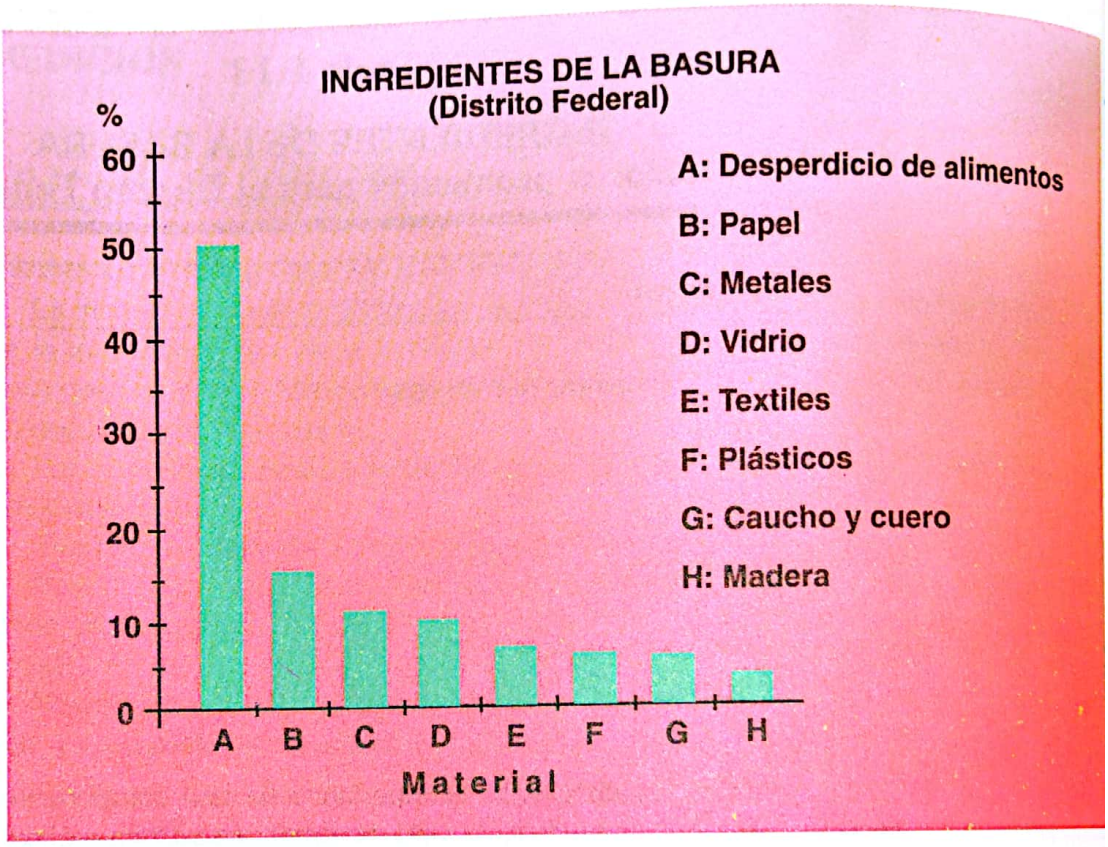


Fig. 1.40

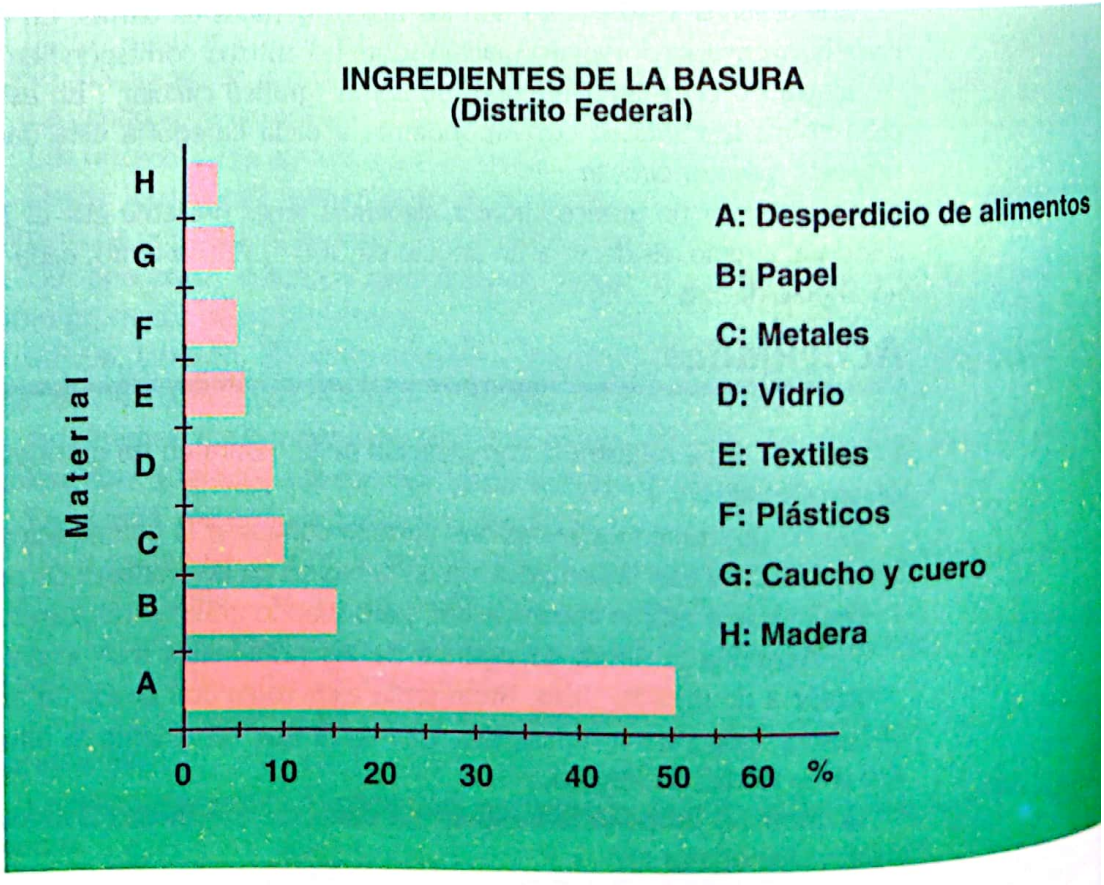


Fig. 1.41

Escaneado con CamScanner

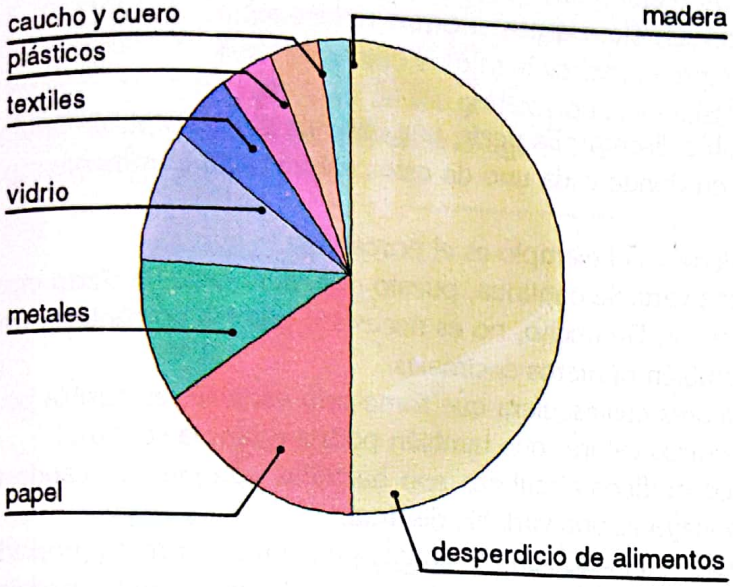


Fig. 1.42

Variables continuas y variables discretas

Las tablas 1.13 y 1.14, en los ejemplos citados, muestran la relación entre dos variables:

a) los materiales que se encuentran comúnmente en la basura que se bota diariamente en una gran ciudad, y

b) el porcentaje correspondiente a cada material.

La variable material puede tomar sólo ciertos valores. En estas tablas, los valores que toma la variable son:

- Desperdicio de alimentos,
- Papel,
- Metales,
- Vidrio,
- Textiles,

Tabla 1.14

INGREDIENTES DE LA BASURA (Valores promedios para grandes ciudades en países desarrollados)

Material	%
Desperdicio de alimentos	50
Papel	16
Metales	10
Vidrio	9
Textiles	5
Plásticos	4
Caucho y cuero	4
Madera	2

Escaneado con CamScanner

- Plásticos,
- Caucho y cuero, y
- Madera.

Estamos frente a una variable discreta. Es decir, una variable que sólo puede asumir un cierto número de valores, en donde cada uno de estos valores está claramente separado de los demás.

La otra variable que interviene en el ejemplo es el porcentaje.

En este caso, se trata de una variable continua, puesto que, dentro de un cierto intervalo, podría asumir cualquier valor. De hecho, no es necesario que los porcentajes sean valores enteros. Pueden ser también números decimales.

De modo que entre dos valores cualesquiera que tome esta variable, es posible pensar en una cantidad infinita de otros valores que también podría tomar la variable.

Los gráficos de barra y los gráficos circulares son bastante apropiados cuando al menos una de las variables en juego es una variable discreta.

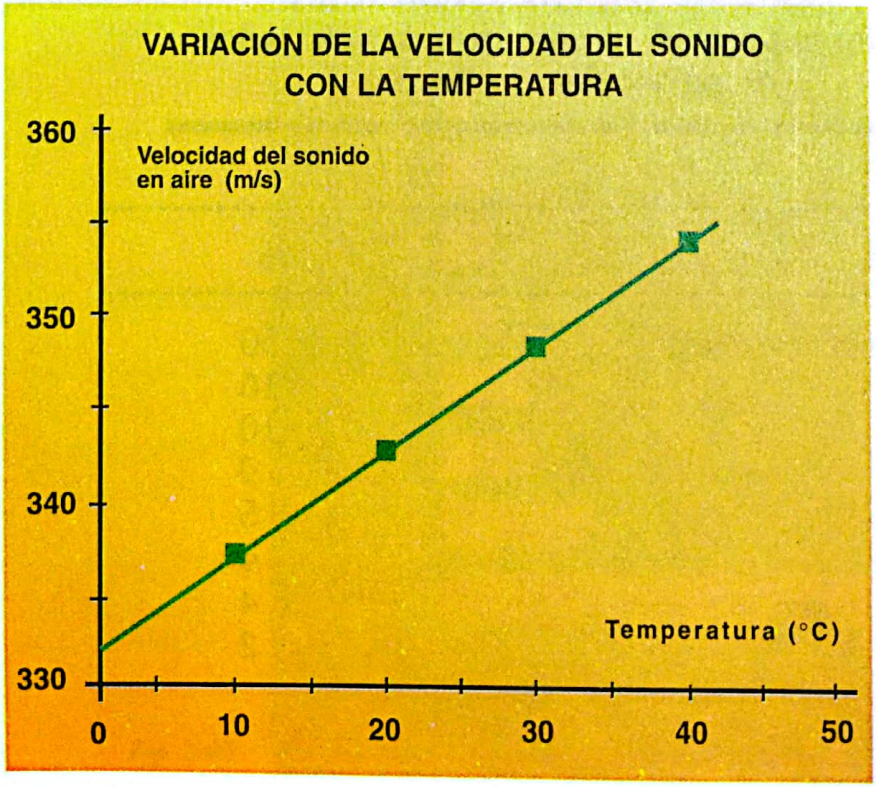
En cambio, si las dos variables en juego son continuas, puede resultar más apropiado el empleo de un gráfico como el de la figura, que muestra la relación entre la velocidad del sonido en aire y la temperatura del aire.

En verdad, no tiene mucho sentido tratar de encontrar una regla general para determinar qué tipo de gráfico habría que usar en cada caso.

Los gráficos son un medio de comunicación.

Por lo tanto, la determinación del tipo de gráfico a usar dependerá de los objetivos planteados. La decisión a tomar es una respuesta a la pregunta: ¿Qué tipo de gráfico comunica en forma más clara y certera lo que deseo transmitir?. Y, como muchas cosas en esta vida, tampoco aquí habrá sólo una respuesta verdadera.

Fig. 1.43



Actividades

1. Actualmente, se utilizan con frecuencia en la técnica las expresiones digital y analógico. Están relacionadas con las expresiones discreto y continuo. Averigua la relación que existe entre cuatro e ilustra tus explicaciones con ejemplos tomados de la vida diaria.

2. El gráfico, que muestra la relación entre la velocidad del sonido en aire y la temperatura del aire (figura 1.43), encierra en forma

Escaneado con CamScanner

compacta, como todo gráfico, una gran cantidad de información. Trata de extraer tanta información como te sea posible respecto de las variaciones que experimenta la velocidad del sonido en aire al variar la temperatura.

3. Uno de los gráficos que se utiliza con mucha frecuencia en el cuidado de la salud es el que muestra la figura 1.44.

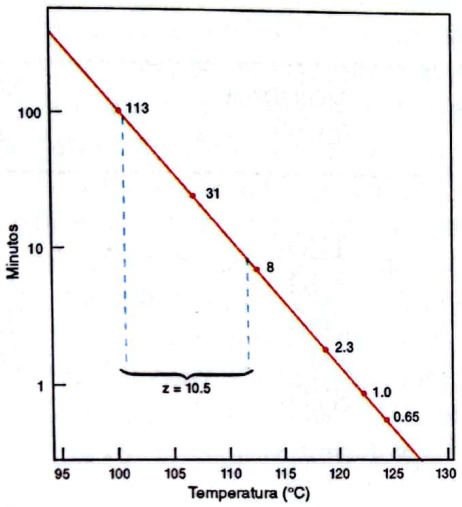


Fig. 1.44

a) ¿Cuál es la variable que está representada en cada eje?

b) ¿Se trata de variables continuas o discretas?

c) ¿Qué utilidad tiene este gráfico para el médico que está a cargo de un paciente?

d) Para algunas enfermedades, el gráfico de tempertatura presenta formas que son características para la enfermedad. Averigua algo sobre este tema.

4. A veces la relación entre dos variables resulta un tanto compleja. Las preguntas que siguen constituyen un desafío a estudiar, experimentalmente, un caso concreto: la relación entre la estatura y la masa de una persona.

a) Mide tu estatura y tu masa.

b) Reúne estos mismos datos de cada uno de los compañeros de tu curso.

c) Lleva los valores obtenidos a un gráfico.

d) Analiza los resultados obtenidos. ¿Qué conclusiones podríamos sacar de los datos disponibles?

(e) Complementa tus datos con los valores correspondientes a otras personas, tanto jóvenes como adultos. ¿Se modifican las conclusiones a que habías llegado?

5. Actualmente, las computadoras permiten dibujar gráficos en forma rápida y ordenada. Existen programas especiales para ello. También es posible utilizar algunos programas de tipo utilitario (planillas de cálculo o programas integrados del tipo Works). Averigua cómo dibujar gráficos con una computadora y úsala para reproducir algunos de los gráficos que se han mencionado en el texto u otros que tú consideres interesantes.

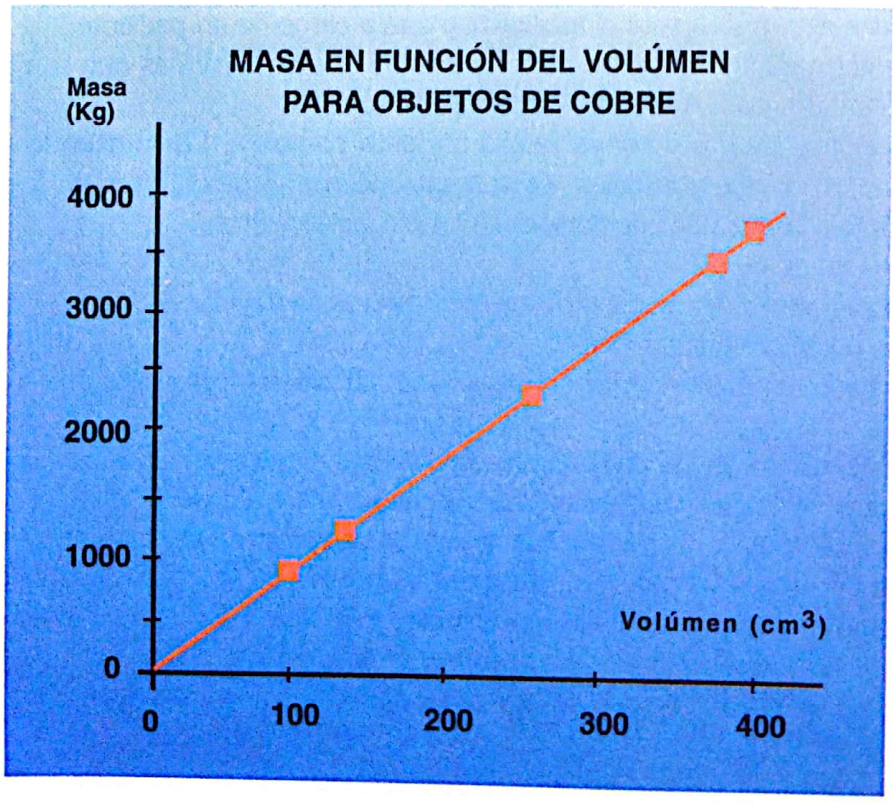
Escaneado con CamScanner

Tabla 1.15

VOLUMEN Y MASA DE DIFERENTES OBJETOS DE COBRE

Objeto	Volumen (cm^3)	Masa (g)
Objeto A	120	1100
Objeto B	390	3500
Objeto C	260	2300
Objeto D	80	700
Objeto E	370	3300

Fig. 1.45



El concepto de densidad

En Primer Grado tuvimos oportunidad de hablar acerca del concepto de densidad.

En esa ocasión, pusimos el énfasis en el hecho de que este concepto corresponde a un cociente: el cociente

$$\frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Esta vez, queremos mirar el concepto de densidad desde otro punto de vista. Lo haremos surgir a partir de un gráfico.

Para ello, empecemos con una serie de mediciones.

La tabla 1.15 muestra los resul-

Escaneado con CamScanner

tados de la medición del volumen y la masa de diferentes objetos de cobre. El volumen se midió por desplazamiento de agua. La masa se midió directamente en una balanza. En la tabla, cada objeto se identifica mediante una letra (Objeto A, Objeto A, etc.).

En la figura se han llevado estos valores a un gráfico. La gráfica resultante es una recta que pasa por el origen.

Los matemáticos afirman que si la gráfica es una recta que pasa por el origen, entonces el cociente entre las variables representadas es constante. Es decir, para todos los objetos medidos, el cociente masa/volumen tiene el mismo valor.

Esto es muy fácil de verificar. Basta agregar, a la tabla 1.15, una columna con el cociente masa/volumen para cada objeto. Es lo que se ha hecho en la tabla 1.16.

Vemos en la tabla 1.16 que para todos los objetos considerados, el cociente "masa/volumen" tiene valores muy parecidos. Es cierto que no son exactamente iguales. Pero ya sabemos que todo proceso de medición está afectado por una inevitable incerteza. Podemos afirmar, entonces, que dentro de las incertezas de la medición, el cociente es igual para todos los objetos de la tabla.

En este caso, el cociente "masa/volumen" tiene un valor muy cercano a 9 g/cm^3.

Llamemos M a la masa y V al volumen. De acuerdo con las mediciones hechas, para objetos de cobre se cumple que:

$$\frac{M}{V} = 9\ g/cm^3$$

Este cociente es un viejo conocido nuestro. Es la densidad.

Lo designaremos con la letra d. La ecuación puede escribirse, ahora, así:

TABLA 1.16

VOLUMEN Y MASA DE DIFERENTES OBJETOS DE COBRE

Objeto	Volumen (cm^3)	Masa (g)	Masa/Volumen (g/cm^3)
Objeto A	120	1100	9,2
Objeto B	390	3500	9,0
Objeto C	260	2300	8,8
Objeto D	80	700	8,8
Objeto E	370	3300	8,9

Escaneado con CamScanner

$$\frac{M}{V} = d$$

Si multiplicamos ambos lados de esta ecuación por V, obtenemos una nueva ecuación, equivalente a la anterior:

$M = d \bullet V$

Todo lo anterior se puede resumir en pocas palabras diciendo que, para una misma sustancia, la masa es proporcional al volumen.

Decir que la masa es proporcional al volumen significa que:

a) el cociente entre ambas variables es constante,

b) el gráfico "masa en función del volumen" es una recta que pasa por el origen, y

c) se cumple la ecuación $M = d \bullet V$.

De esta forma, la definición que hemos dado para la densidad es el resultado de la proporcionalidad entre la masa y el volumen para una misma sustancia.

Gracias a este hecho, para una determinada sustancia, el cociente entre M y V tiene siempre el mismo valor, independientemente del tamaño del objeto en cuestión.

La densidad se convierte, así, en una magnitud característica de cada sustancia.

Actividades

1. a) Mide la masa para diferentes volúmenes de una misma sustancia (arena, frijoles, zumo de naranjas, madera, etc.).

b) Lleva tus valores a un gráfico.

c) De acuerdo con tu gráfico, para esa sustancia, ¿es la masa proporcional al volumen?

d) Según tus mediciones, ¿cuál es la densidad de la sustancia considerada?

2. Consigue diversos objetos cilíndricos (monedas, lápices, frascos, etc.).

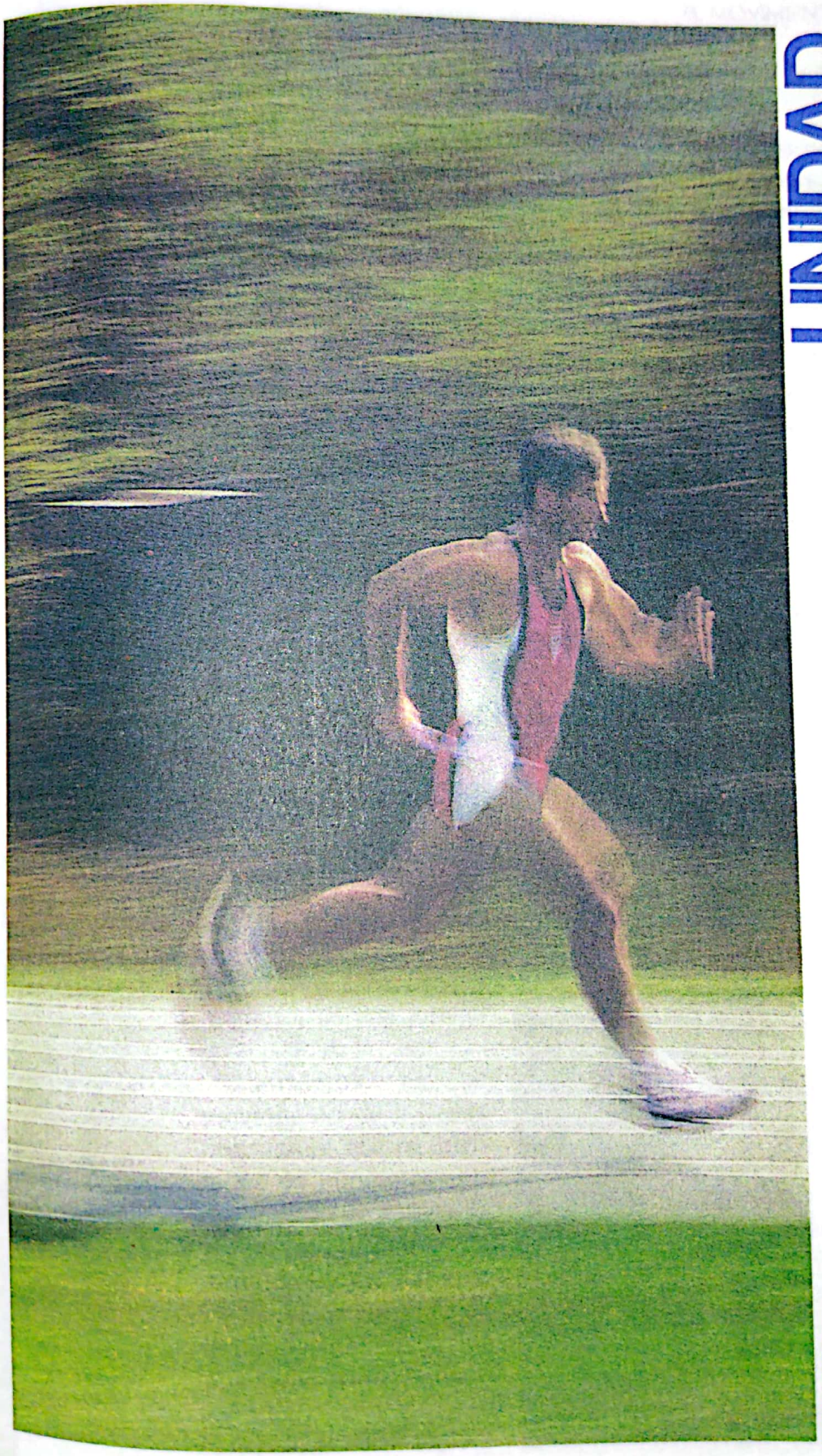
a) Para cada uno de ellos, mide su diámetro d y su circunferencia C.

b) Lleva los valores encontrados a un gráfico C en función de *d*.

c) ¿Es la C proporcional a *d*?

d) ¿Qué valor tiene el cociente *C/d*? ¿Te parece conocido este valor?

Escaneado con CamScanner



UNIDAD 2

EL MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS

Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner

EL MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS

Uno de los rasgos más característicos de los fenómenos físicos es el movimiento.

Digamos, a modo de ilustración, que los enormes progresos realizados por la Física durante los siglos XVI y XVII estuvieron motivados en gran parte por el deseo de conocer mejor y poder explicar el movimiento de los planetas.

Para poder describir con suficiente precisión los movimientos, el hombre establece conceptos y elabora herramientas matemáticas que le permiten analizar el movimiento de los cuerpos en forma cada vez más adecuada.

Es interesante, por ejemplo, recordar que el cálculo diferencial fue inventado casi simultáneamente por Leibniz en Alemania y por Newton en Inglaterra en la segunda mitad del siglo XVII. La motivación de Newton fue precisamente la necesidad de tener una herramienta matemática que le permitiera estudiar en mejor forma los movimientos.

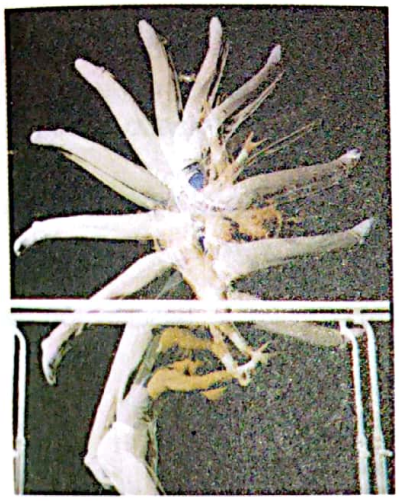


Fig. 2 1

En esta Unidad, analizaremos los factores que influyen en el movimiento. Para ello necesitaremos dar un vistazo a algunos aspectos del lenguaje matemático que utilizan los físicos para describir movimientos. Y formularemos tres leyes físicas que resumen todo nuestro conocimiento acerca del papel que desempeñan las fuerzas en el movimiento de los cuerpos.

¿Qué es el movimiento?

Tal vez, uno de los rasgos que más llama la atención al observar los movimientos que animan a los diferentes objetos a nuestro alrededor, es su gran variedad.

Pensemos, por ejemplo, en el movimiento de una pelota de tenis en un match reñido. Es un movimiento rápido, ágil, con bruscos cambios de dirección en cada raquetazo o al golpear contra el piso. Muy diferente del movimiento lento, parsimonioso, de una tortuga en el patio de la casa.

Pensemos en el movimiento de las aves migratorias, que recorren miles de kilómetros en busca de zonas cálidas. O en el movimiento de algunos cometas, que vienen desde las profundidades del espacio, atraviesan parte de nues-

Fig. 2.2

Escaneado con CamScanner

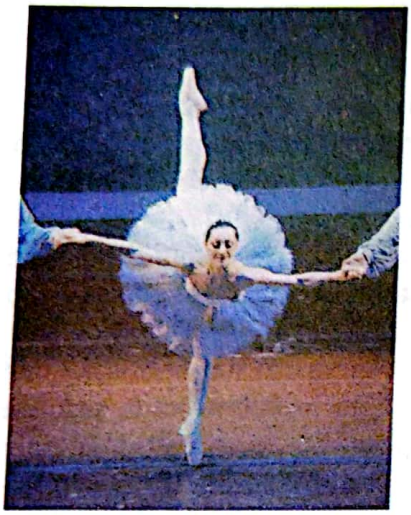


Fig.2.3

tro sistema solar y luego se alejan, se pierden, viajando, siempre viajando.

El movimiento de una bailarina de ballet se caracteriza por su armonía y belleza, y es capaz de expresar sentimientos y emociones. Por su parte, los continentes se desplazan con una velocidad sólo perceptible con ayuda de instrumentos de gran precisión.

Las galaxias lejanas se alejan de nosotros con velocidades cercanas a la de la luz. La Tierra, nuestro planeta, tiene un movimiento bastante complicado. Sus dos componentes más importantes son la rotación en torno a su eje y la traslación en torno al Sol.

El aire que nos rodea no es otra cosa que un conjunto de moléculas que se desplazan, chocan entre sí, giran, sin un instante de reposo.

Algunos movimientos son bastante complejos, como el de la caída de la hoja de un árbol. Otros son relativamente simples. Las gotas de lluvia caen con una velocidad aproximadamente constante.

En toda esta variedad, ¿qué es lo que tienen de común todos los movimientos? ¿Qué significa decir que un cuerpo se mueve?

Cuando algo se mueve, primero tiene en una posición y luego en otra diferente. Un objeto que se mueve va cambiando de posición a medida que transcurre el tiempo. Si vemos que un cuerpo mantiene su posición, entonces no se está moviendo, sino que está en reposo.

Cambio de posición a medida que transcurre el tiempo, eso es lo que caracteriza a todo movimiento.

Moverse es cambiar de posición.

En las páginas que siguen, centraremos nuestra atención en la descripción de movimientos.

El movimiento rectilíneo uniforme

Fig. 2.4

Ya hemos dicho que los movimientos que se dan en la vida real son bastante complicados.

A pesar de ello, es conveniente empezar nuestro estudio por los movimientos más simples.

Sin duda, el movimiento más simple es el movimiento que se realiza a lo largo de una recta y con velocidad constante.

En este tipo de movimiento, el cuerpo se mueve permanentemente en la misma dirección y siempre con la misma velocidad. Por decirlo así, el movimiento se mantiene siempre igual a sí mismo.

Se acostumbra denominar movimientos rectilíneos a los que se realizan a lo largo de una línea recta.

Si, además, la velocidad se mantiene constante, entonces se usa frecuentemente la denominación movimiento rectilíneo uniforme.

Es decir, un cuerpo se mueve con "movimiento rectilíneo uniforme" si se desplaza con velocidad constante a lo largo de una línea recta.

Escaneado con CamScanner

En todo caso, lo importante no es el nombre, sino el concepto.

Empezaremos nuestro estudio, por lo tanto, con este movimiento: el movimiento rectilíneo uniforme.

Actividades

1. El término movimiento se utiliza en el lenguaje cotidiano con diferentes acepciones. Menciona algunos ejemplos, extraídos de la vida diaria, de frases o expresiones en las que se emplea la palabra movimiento con significados que no coinciden con el que se le asigna en Física.

2. En 1912, el geólogo alemán Alfred Wegener sugirió la idea de que los continentes que hoy conocemos formaban, inicialmente, una sola masa de tierra. Esta masa de tierra se habría empezado a fragmentar hace algunos cientos de millones de años y los trozos habrían iniciado un lento desplazamiento hasta ocupar la posición actual. Averigua, en la literatura de divulgación científica, algo más acerca de esta interesante teoría.

Descripción de movimientos mediante tablas de valores

Supongamos que Javier sale de León, con su familia, en dirección a Chihuahua.

Para describir el movimiento del auto de Javier, podemos construir una tabla de valores en donde se indique, por una parte, el tiempo transcurrido y, por otra, la distancia que separa al vehículo de la ciudad de León.

Para mayor claridad, designaremos con la letra t al tiempo transcurrido desde el momento en que se inicia el movimiento, y con xL a la distancia entre el vehículo y la ciudad de León.

TABLA 2.1

DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO DEL AUTOMÓVIL DE JAVIER

t (h)	xL (km)	
0	0	xL : distancia a León
0.5	40	t : tiempo desde el inicio del movimiento
1.0	80	
1.5	120	
2.0	160	
2.5	200	
3.0	240	

Escaneado con CamScanner

La construcción de la tabla es bastante simple.

Consideremos intervalos de media hora.

Puesto que la velocidad es de 80 km/h, el auto recorre 40 km cada media hora. Resulta, así, para las primeras tres horas de viaje, la tabla 11.

Una tabla informa acerca de la posición del vehículo en diferentes instantes y proporciona, así, una buena descripción del movimiento que estamos estudiando.

Actividades

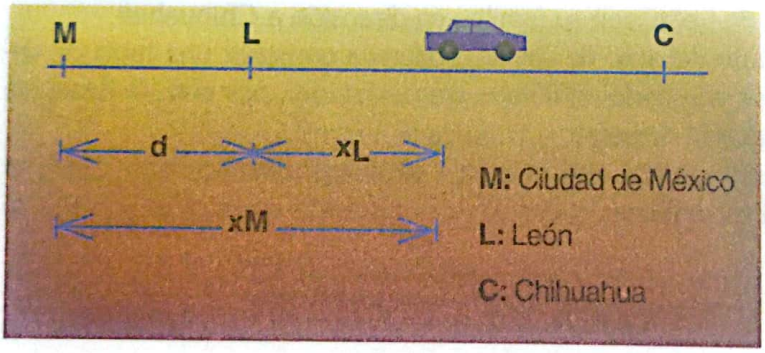
1. ¿Qué modificaciones habría que introducir a la tabla 2.1 si la familia de Javier, una hora y media después de la partida, decide hacer un alto de media hora para comer?

2. Otra posibilidad para describir el movimiento del carro de Javier consiste en tomar como referencia a la Ciudad de México.

Es decir, en lugar de indicar a qué distancia se encuentra el vehículo de la ciudad de León, indicamos a qué distancia se encuentra de la Ciudad de México.

Esto puede hacerse sin dificultad, con base en la tabla 2.1. En efecto, tal como se muestra en la figura, entre la distancia a León (xL) y la distancia a la Ciudad de México (xM) existe la relación xM = xL + d, en que d es la distancia que separa Ciudad de México de León.

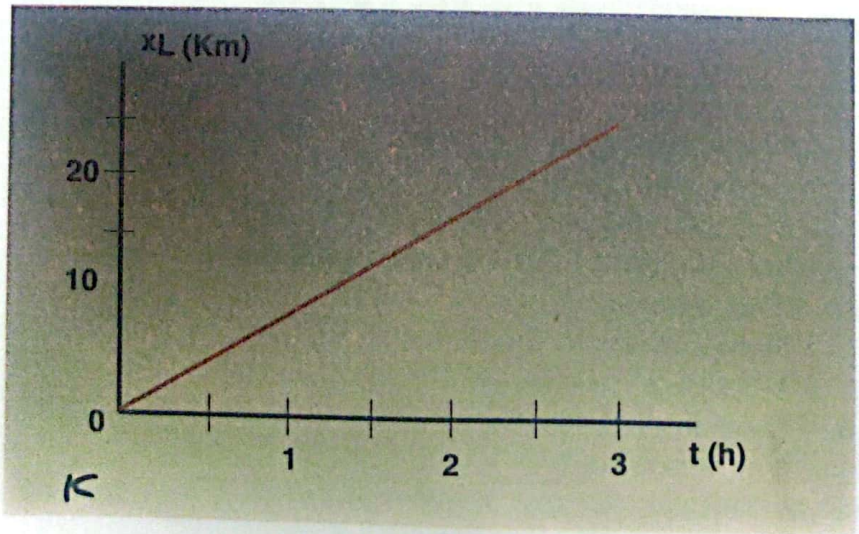
Fig. 2.5



Construye una tabla, similar a la tabla 2.1, que muestre cómo varía xM en función de t.

3. Martha afirma que, en lugar de tomar como referencia a León o a la Ciudad de México, también el movimiento del carro de Javier podría describirse tomando como referencia a la ciudad de Chihuahua. ¿Qué opinas tú?

Fig. 2.6



Descripción de movimientos mediante gráficos

Hemos visto algunas posibilidades de emplear tablas de valores como un medio para describir movimientos.

Aprovecharemos el mismo ejemplo para ilustrar el uso de gráficos en la decripción de movimientos. Para ello, basta llevar los valores de la tabla 2.1 a un gráfico, tal como se muestra en la figura.

En este gráfico, el eje horizontal representa a la variable t, es decir, el

Escaneado con CamScanner

tiempo que ha transcurrido desde que la familia inició su viaje.

A su vez, el eje vertical representa a la variable xL, es decir, la distancia que hay entre el carro y la ciudad de León.

Cada uno de los pares de valores que teníamos en la tabla queda representado por un punto en el gráfico. Uniendo los puntos se obtiene una línea que representa gráficamente la relación entre la posición del vehículo y el tiempo. La posición del vehículo queda dada por su distancia respecto al punto de partida.

El gráfico x en función de t

El gráfico x en función de t muestra cómo varía la posición del cuerpo a medida que tanscurre el tiempo.

Este gráfico constituye, al igual que la tabla de valores, una descripción del movimiento del cuerpo.

En muchos casos, la descripción de un movimiento a través de un gráfico resulta más adecuado que a través de una tabla.

Desde luego, el gráfico proporciona una representación visual que permite inferir en una forma relativamente simple algunas de las principales características del movimiento. Pero eso no es todo.

Veamos cómo podemos extraer una buena cantidad de información acerca del movimiento de un cuerpo, analizando el gráfico x en función de t que describe su movimiento.

Fig. 2.8

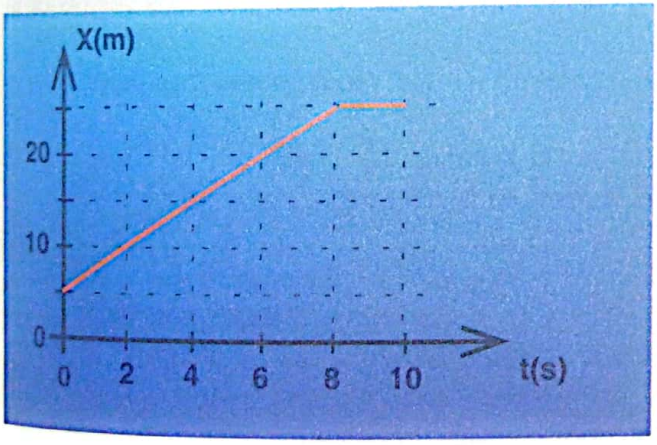
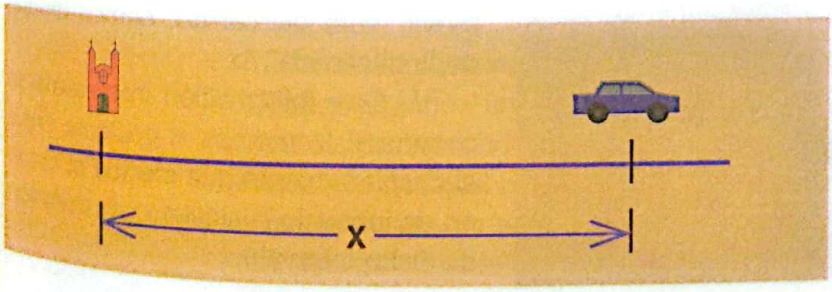


Fig. 2.7



Consideremos el siguiente

Ejemplo:

Un carrito, representado en la figura por el punto C, se mueve a lo largo de una línea recta. Para especificar la posición de C se ha elegido como punto de referencia el punto P. La coordenada x representa la distancia que separa al carrito del punto de referencia P.

Supongamos que el movimiento del carrito queda descrito por el gráfico de la figura.

¿Qué información aporta este gráfico?

I. En primer lugar, podemos conocer la posición del carrito en un instante cualquiera.

Para ello, basta fijarse en la altura de la curva para el respectivo valor de t .

Así, por ejemplo, en el instante t = 4 s, el carrito se encuentra a una distancia de 15 m del punto de referencia P.

Escaneado con CamScanner

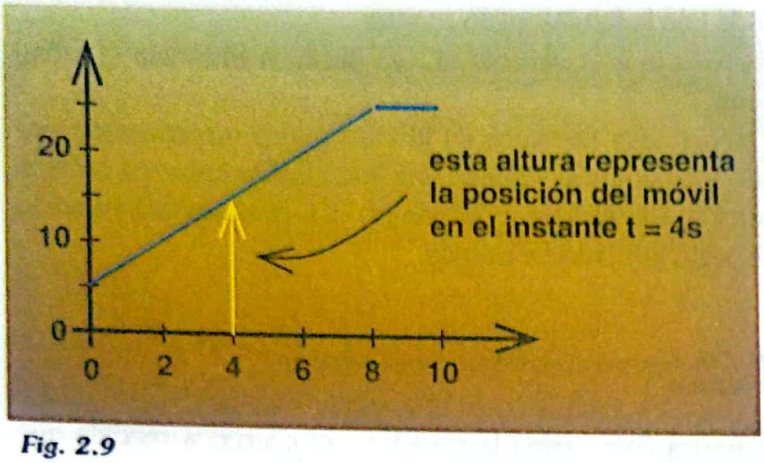


Fig. 2.9

II. En segundo lugar, las variaciones de altura de la gráfica muestran cómo varía la posición del carrito a medida que transcurre el tiempo.

En este caso, vemos que la altura de la curva aumenta a medida que transcurre el tiempo. Eso significa que la distancia entre el cuerpo y el punto de referencia va aumentando. Es decir, el cuerpo se está alejando del punto P.

A partir del instante t = 8 s, la gráfica se hace horizontal. La altura de la gráfica se mantiene constante en el valor x = 25 m. Por lo tanto, podemos afirmar que la distancia a P se mantiene constante. En otras palabras, el carrito se ha detenido cuando llegó a un punto situado a 25 m de P.

Un momento de especial interés es el correspondiente a t = 0 s. Para este valor de t, la coordenada x tiene el valor 5 m. Ello implica que, inicialmente, el carrito se encontraba a una distancia de 5 m del punto P .

III. Consideremos ahora un intervalo cualquiera. Por ejemplo, el intervalo entre t1 = 2 s y t2 = 6 s .

La duración de este intervalo está dada por la diferencia t2 - t1 y vale, en este caso, 4 s.

Se acostumbra a representar la diferencia entre dos valores de una misma variables mediante el símbolo Δ, que corresponde a la letra griega delta mayúscula.

Así, la expresión Δt se lee delta te y se refiere a la diferencia entre dos valores de la variable t.

En el ejemplo recién mencionado, empleando el símbolo Δ, podríamos escribir:

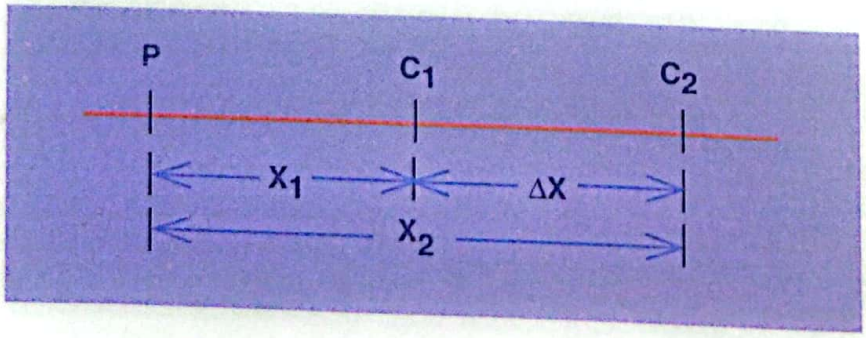
Δt = 4 s.

IV. Ahora bien, la coordenada x en el instante t1 vale x1 = 10 m, y en el instante t2 vale x2 = 20 m. Si formamos la diferencia Δx = x2 - x1 , encontramos el valor Δx = 10 m.

Tratemos de determinar si esta diferencia Δx = x2 - x1 tiene algún significado físico.

En el esquema de la figura, los puntos C1 y C2 representan las posiciones del carrito en los instantes t1 y t2 respectivamente. Allí se ve que la diferencia Δx representa el desplazamiento que ha experimentado el carrito durante el intervalo entre t1 y t2 .

Fig. 2.10

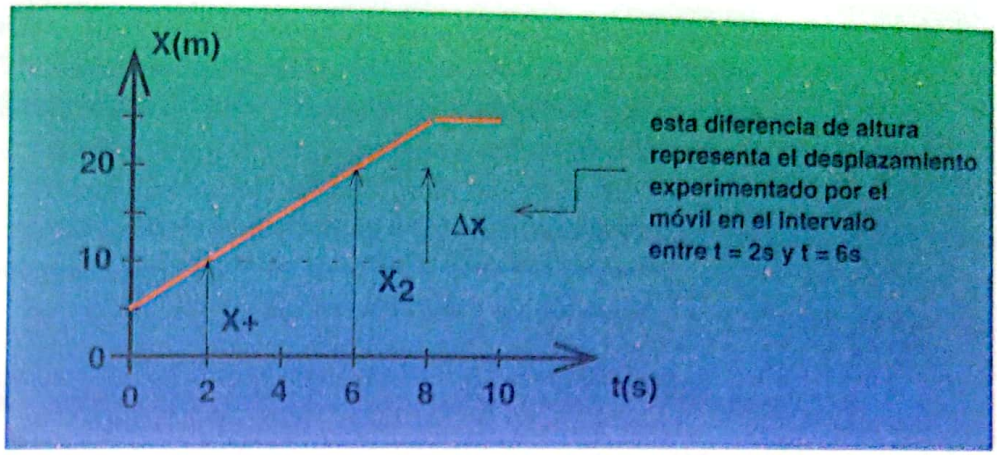


En el gráfico que representa el movimiento del carrito, hemos dibujado la diferencia Δx .

V. Otra información interesante se obtiene si formamos el cociente entre el desplazamiento que efectúa el carrio en un intervalo cualquiera y la duración de dicho intervalo.

Escaneado con CamScanner

Fig. 2.11



Es decir, el cociente:

$$\frac{\text{desplazamiento en un intervalo}}{\text{duración de ese intervalo}}$$

Para el intervalo entre t1 = 2 s y t2 = 6 s, tenemos:

duración del intervalo: 4 s
desplazamiento del carrito en ese intervalo: 10 m

Por lo tanto, el cociente:

$$\frac{\text{desplazamiento en un intervalo}}{\text{duración de ese intervalo}}$$

tiene el valor:

$$\frac{10 \text{ m}}{4 \text{ s}}$$

Es decir, el valor de dicho cociente es 2.5 m/s.

¿Tiene algún significado físico este cociente?

Sí. Este cociente corresponde precisamente a la velocidad del móvil.

Esta es una idea importante. Conviene que nos detengamos en ella.

Todos tenemos una idea intuitiva acerca de la noción de velocidad. Sabemos qué queremos decir cuando hablamos de que un objeto se mueve con gran velocidad o que la velocidad de aquel otro es muy baja.

Sin embargo, no resulta simple encontrar una buena definición que permita determinar cuantitativamente el valor de la velocidad de un objeto.

Escaneado con CamScanner

Incluso en la historia de la Física observamos que, aunque se habla acerca de la velocidad de los cuerpos desde muy temprano, una definición precisa surge recién a partir de los trabajos de Galileo y de Newton, aproximadamente en el siglo XVII.

El cociente

$$\frac{\text{desplazamiento que experimenta el móvil en un intervalo}}{\text{duración de ese intervalo}}$$

indica cuánto se desplaza el móvil en cada unidad de tiempo.
En este sentido, es una buena definición de velocidad.
Más adelante, será necesario modificarla un poco. Pero cada cosa a su tiempo.
Por el momento, será nuestra definción de velocidad.

DEFINICIÓN DE VELOCIDAD

Para calcular la velocidad con que se mueve un cuerpo en un cierto intervalo, basta dividir el desplazamiento que experimenta el cuerpo en ese intervalo por la duración del intervalo.

Es decir, si llamamos v a la velocidad del cuerpo, entonces:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Actividades

1. Aplica la definición dada para calcular la velocidad del carrito en los siguientes intervalos:

a) entre $t = 0$ s y $t = 2$ s,
b) entre $t = 2$ s y $t = 4$ s,
c) entre $t = 4$ s y $t = 6$ s,
d) entre $t = 6$ s y $t = 8$ s.

2. ¿Fue constante la velocidad del carrito entre 0 y 8 s?

3. a) Calcula la velocidad del carrito, de acuerdo con nuestra definición, para el intervalo entre 8 s y 10 s.

b) ¿Te parece razonable el valor que has obtenido?

4. El carrito, cuyo movimiento hemos estado analizando, partió desde un punto situado a 5 m de P y llegó a un punto situado a 25 m de P. Demoró 8 s en recorrer ese tramo.

a) Dibuja el gráfico que represente el movimiento de un segundo carrito que parte

Escaneado con CamScanner

desde el mismo lugar que el primero y llega al mismo punto que llegó el primero, pero que realiza ese desplazamiento en sólo 4 s.

b) Calcula la velocidad con se movió este segundo carrito durante esos 4 s.

5. Comparando los dos gráficos, ¿podrías decir si hay alguna relación entre la inclinación de la gráfica y la velocidad con que se mueve el carrito?

6. ¿Qué podrías afirmar acerca de la inclinación de la gráfica para un objeto que se encuentra en reposo?

El gráfico x en función de t y la velocidad del móvil

De acuerdo con las actividades 4, 5 y 6, la pendiente de la gráfica, es decir, su inclinación en el gráfico x en función de t está directamente relacionada con la velocidad del móvil.

Mientras mayor sea la pendiente de la curva, mayor será la velocidad del cuerpo.

En especial, si la gráfica es paralela al eje horizontal, el móvil tiene velocidad cero, es decir, está detenido.

De lo anterior se desprende que la forma de la gráfica indica si la velocidad es constante o varía.

Para mayor claridad, consideremos el movimiento representado en el gráfico de la figura.

En este gráfico, se distinguen claramente tres tramos:

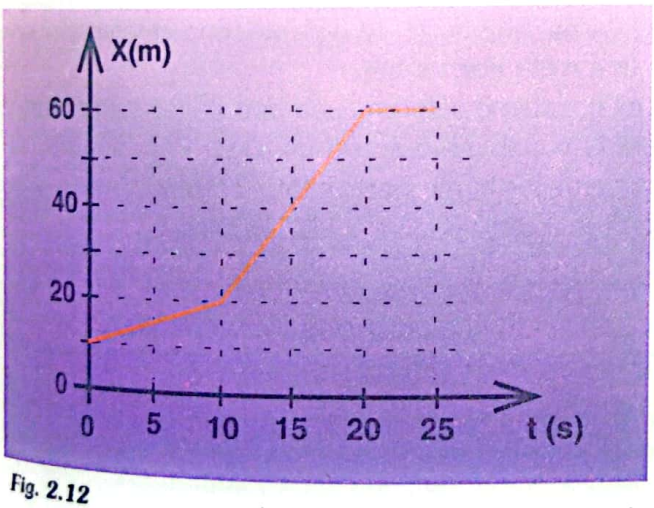


Fig. 2.12

- el primero transcurre entre t = 0 s y t = 10 s,
- el segundo transcurre entre t = 10 s y t = 20 s, y
- el tercero transcurre entre t = 20 s y t = 25 s.

En el primer tramo, cuya duración es de 10 s, el cuerpo avanzó desde x = 10 m hasta x = 20 m. Su desplazamiento en ese intervalo fue, por lo tanto, de 10 m, y su velocidad fue de 1 m/s.

El intervalo siguiente tuvo una duración de 10 s. En ese intervalo, avanzó desde x = 20 m hasta x = 60 m . Es decir, recorrió una distancia de 40 m. Por lo tanto, su velocidad fue de 4 m/s.

En el último tramo, la gráfica es una recta horizontal. Su velocidad en ese tramo fue cero.

A simple vista se ve que la pendiente de cada tramo es diferente. De allí se desprende que también es diferente la velocidad, lo que hemos podido comprobar con los cálculos hechos.

De aquí fluye una interesante conclusión: si la velocidad de un móvil es constante, entonces en el gráfico x en función de t la pendiente de la gráfica debe ser siempre la misma. Es decir, debe ser necesariamente una línea recta.

Escaneado con CamScanner

El gráfico v en función de t

En los párrafos anteriores hemos hablado acerca del gráfico x en función de t. Es decir, nos hemos referido al gráfico que describe lo que sucede con la posición del móvil a medida que transcurre el tiempo.

También es posible describir el movimiento mediante un gráficov en función de t, o sea, un gráfico que muestra las variaciones de la velocidad del cuerpo a medida que transcurre el tiempo.

En el movimiento uniforme la velocidad es constante. Por lo tanto, el gráfico v en función de t debe ser una recta horizontal.

En la figura se muestra el gráfico v en función de t para dos de los ejemplos analizados anteriormente.

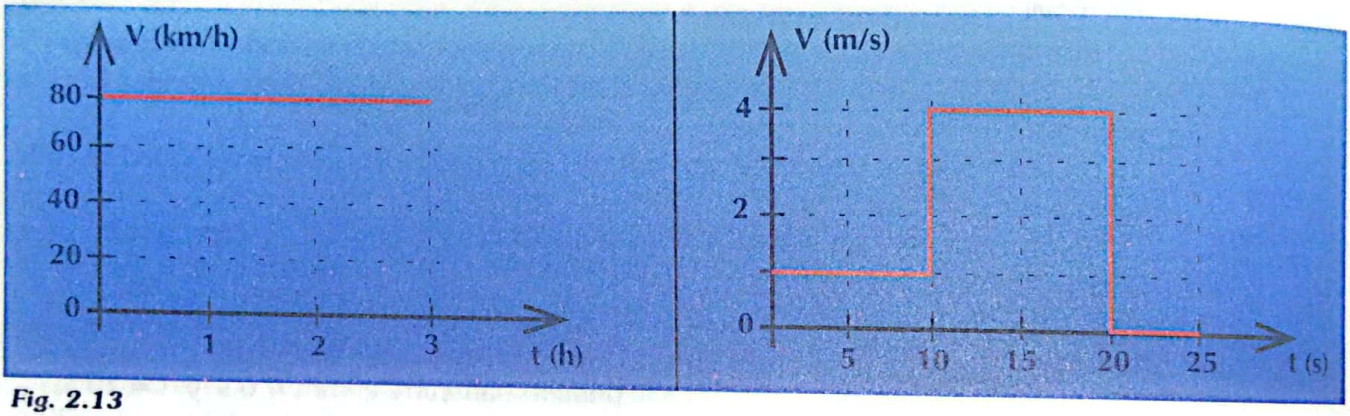


Fig. 2.13

En el primer caso, la velocidad del carrito es constante durante todo el intervalo considerado. La gráfica es, por lo tanto, una recta horizontal.

En el segundo caso, la velocidad es constante sólo en cada uno de los tramos considerados, pero no lo es si se considera el movimiento como un todo. Por tal motivo, la curva está constituida por tres trazos paralelos al eje horizontal. El último trazo se confunde con el eje del tiempo, ya que en ese intervalo la velocidad es cero.

Actividades

1. a) Diseña un procedimiento que te permita medir la velocidad con que camina normalmente uno de tus compañeros.

b) Lleva a cabo las mediciones.

c) Describe el movimiento de tu compañero mediante un gráfico x en función de t y mediante un gráfico v en función de t.

2. ¿Cómo explicas que un mismo movimiento pueda ser descrito por dos gráficos que se ven tan diferentes entre sí?

3. Describe en palabras cada uno de los movimientos descritos por los gráficos de la figura.

4. Un jugador de tenis de categoría internacional puede lanzar la pelota en un servi-

Escaneado con CamScanner

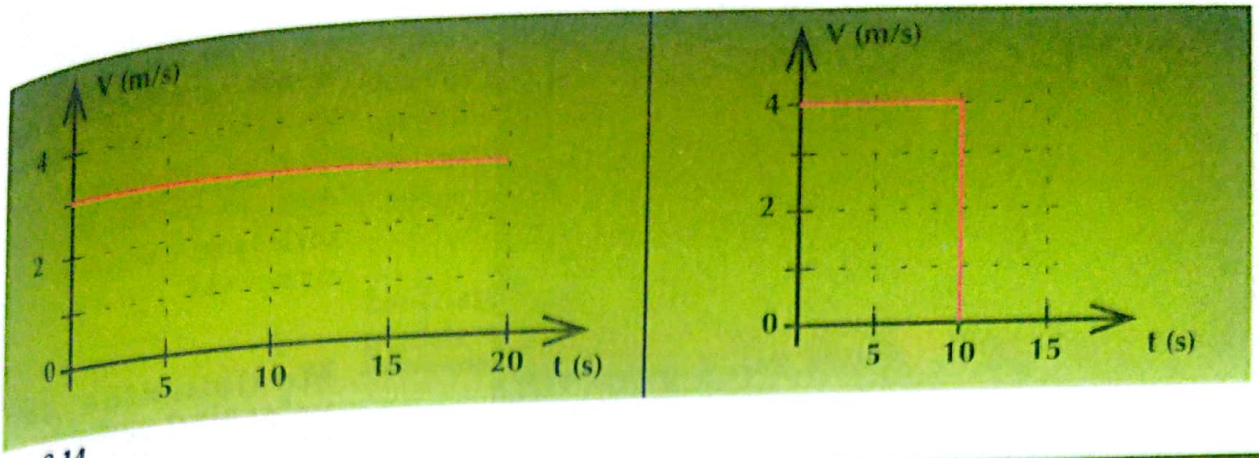


Fig. 2.14

cio con una velocidad de alrededor de 50 m/s. ¿Aproximadamente de cuánto tiempo dispone su adversario para reaccionar, si se encuentra al otro extremo de la cancha a una distancia de 24 m?

5. En febrero de 1987 fue detectado el surgimiento de una supernova en la Gran Nube Magallánica a una distancia de unos

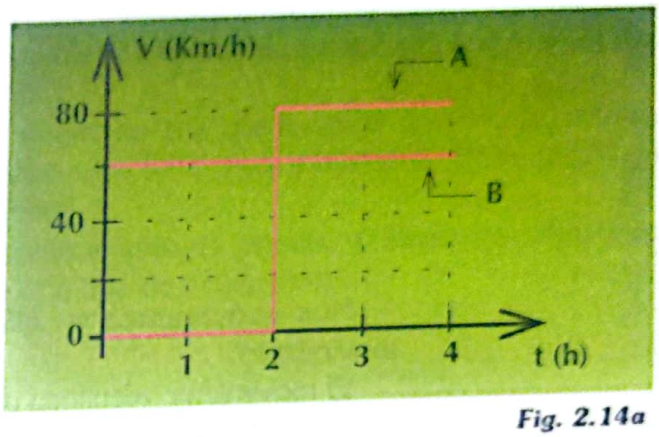


Fig. 2.14a

LA PRIMERA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA LUZ

El primer intento para determinar la velocidad de propagación de la luz lo realizó el astrónomo danés Ole Römer.

En la segunda mitad del siglo XVII, una serie de observaciones de los satélites de Júpiter, descubiertos en 1609 por Galileo, habían mostrado ciertas irregularidades en su movimiento en torno al planeta. Así, el satélite más próximo a Júpiter experimentaba retrasos o adelantos de acuerdo con la posición de la Tierra respecto a Júpiter.

La máxima diferencia de tiempo observada era de 1320 segundos.

En 1676, Römer formuló la hipótesis de que la luz demoraba mayor tiempo en recorrer la distancia entre Júpiter y la Tierra cuando la distancia entre ambos aumentaba y viceversa. La diferencia de tiempo observada debía corresponder, entonces, al tiempo que demora la luz en recorrer el diámetro de la órbita de la Tierra (ver figura).

El valor que se tenía en esa época para este diámetro era de 293 000 000 km.

a) ¿Qué valor para la velocidad de la luz obtuvo Römer a partir de estos datos?

b) Actualmente, se sabe que la diferencia de tiempo en el movimiento del satélite de Júpiter es de 996 s y que el diámetro de la órbita de la Tierra es de 2,99 . 1011 m. ¿Cuánto es la velocidad de la luz, según estos datos actuales?

c) Determina el error porcentual del valor obtenido por Römer.

Escaneado con CamScanner

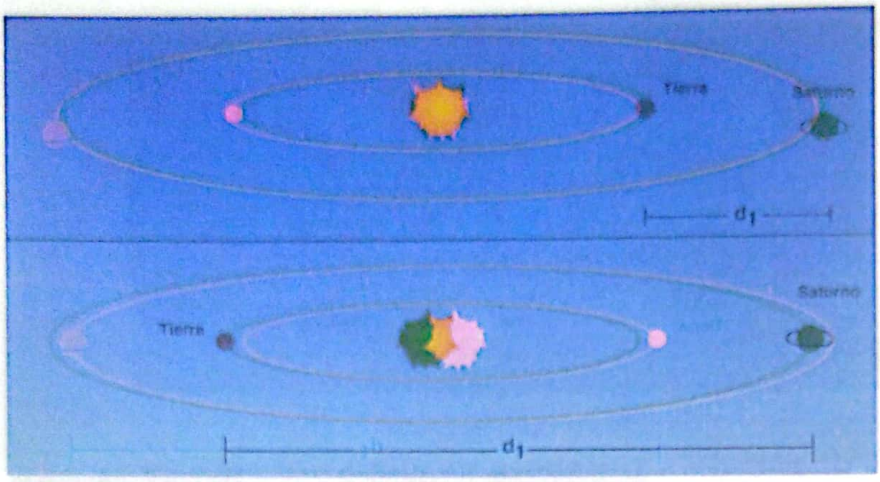


Fig. 2.15

1.5 • 105 años-luz . Como se sabe, un año-luz es la distancia que recorre la luz en un año. De acuerdo con esto, ¿a qué distancia en metros se encuentra esta supernova?

Movimientos con velocidad variable

El estudio del movimiento con velocidad constante nos ha permitido conocer algunas herramientas que ofrecen las matemáticas para describir movimientos en forma cuantitativa.

Nos apoyaremos en ellas para continuar estudiando algunos otros tipos de movimiento.

El movimiento rectilíneo uniforme, es decir, el movimiento con velocidad constante a lo largo de una línea recta, es el más simple de los movimientos que uno puede imaginar.

Por ese motivo, siempre que sea posible, conviene analizar el movimiento de objetos como si fueran movimientos con velocidad constante. Ello simplificará enormemente el análisis.

En otras palabras, el movimiento rectilíneo uniforme constituye un excelente modelo para una gran variedad de movimientos. Acudiremos a él en todas las ocasiones que sea posible.

Sin embargo, esta simplificación puede resultar excesiva en algunos casos.

Si queremos saber, por ejemplo, la distancia que un camión alcanza a recorrer antes de detenerse por completo en un frenazo a fondo, ya no podremos suponer que la velocidad es constante, puesto que un rasgo fundamental de dicha situación es que la velocidad del móvil está disminuyendo.

Algo similar sucede al estudiar el movimiento de los planetas en el sistema solar. Si quisiéramos explicar la forma de la órbita de los planetas, no podríamos empezar suponiendo que ellos se mueven a lo largo de una trayectoria rectilínea.

El criterio para determinar si el modelo movimiento rectilíneo uniforme es o no adecuado, está relacionado directamente con los objetivos del análisis que estemos realizando.

En algunos casos, un determinado movimiento puede ser considerado un movimiento con velocidad constante. Si ese es el caso, usaremos tal modelo para nuestro estudio, porque es el más simple.

Escaneado con CamScanner

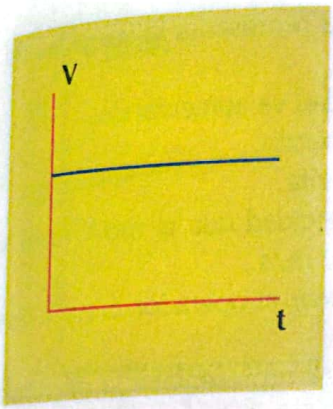


Fig. 2.16 Un movimiento con velocidad constante

Pero puede suceder que al suponer la velocidad constante se pierdan detalles del movimiento que interesan especialmente. En ese caso, será necesario acudir a otros modelos más complejos que permitan un análisis más detallado.

Resulta necesario, entonces, conocer otros tipos de movimiento.

La forma más simple en que puede variar la velocidad

Si la velocidad de un cuerpo es constante, el gráfico v en función de t es una recta horizontal.

Cualquier otra forma o inclinación de la gráfica implicará que la velocidad ya no es constante.

Sin duda, la forma más simple en que puede variar la velocidad corresponde al caso en que el gráfico v en función de t continúa siendo una línea recta, pero deja de ser horizontal.

Siguiendo con nuestro predicamento de estudiar primero los casos más simples, analizaremos ahora este tipo de movimiento.

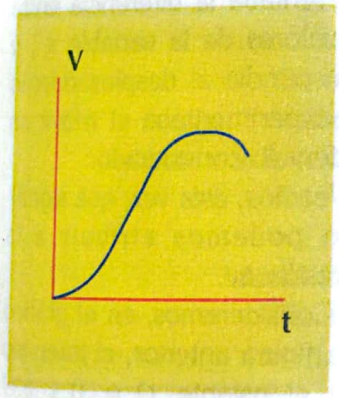


Fig. 2.17 Un movimiento con velocidad variable.

Un ejemplo

A modo de ejemplo, consideremos la siguiente situación: un camión cargado con frutas se dirige hacia la ciudad. Viaja con una velocidad relativamente constante de 20 m/s . Al entrar a una recta con poco movimiento de vehículos, el conductor acelera y, en un lapso de 12 s, el camión aumenta su velocidad hasta 26 m/s.

Estudiemos el movimiento del camión en dicho intervalo de 12 s, durante el cual se produjo el aumento de velocidad.

La figura muestra el gráfico v en función de t para el movimiento del camión. Hemos considerado t = 0 s al instante en que el camión empieza a aumentar su velocidad.

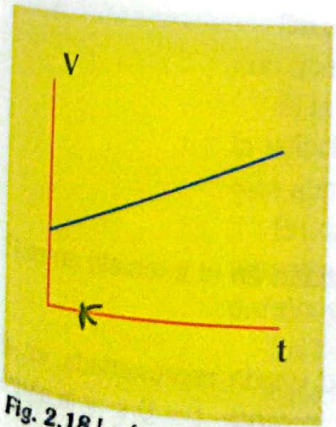
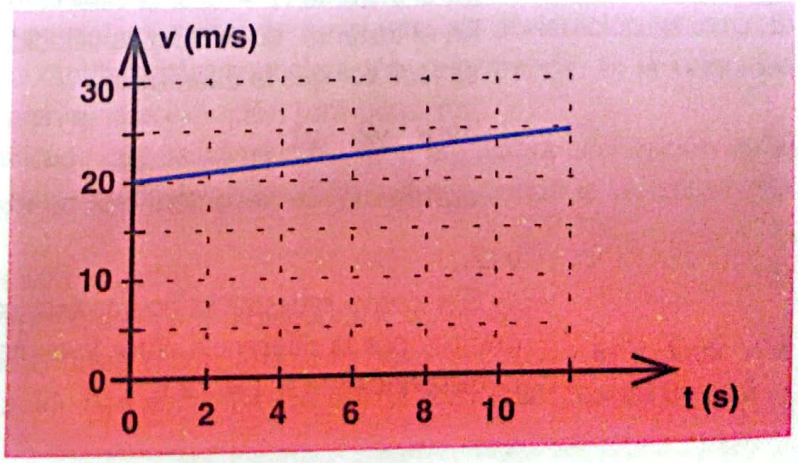


Fig. 2.18 La forma más simple en que puede variar la velocidad.

Veamos qué información contiene este gráfico v en función de t.

Fig. 2.19



I) Desde luego, digamos

que, en el gráfico "v en función de t", la altura de la gráfica representa la velocidad del cuerpo en el instante considerado.

Si la gráfica es ascendente, como en este caso, la velocidad va aumentando.

Si la gráfica fuera descendente, la velocidad iría disminuyendo.

Una recta horizontal, indicaría que la velocidad es constante.

La altura levantada en el instante t = 0 s indica la velocidad que el móvil tenía al comienzo el intervalo. En este caso, la velocidad incial es 20 m/s .

II) En páginas anteriores, tuvimos oportunidad de conocer el operador Δ que indica la diferencia entre dos valores de una variable.

En el ejemplo que analizamos entonces, la expresión Δt representaba la diferencia entre dos valores de la variable t y correspondía a la duración del intervalo que transcurre entre esos valores de t.

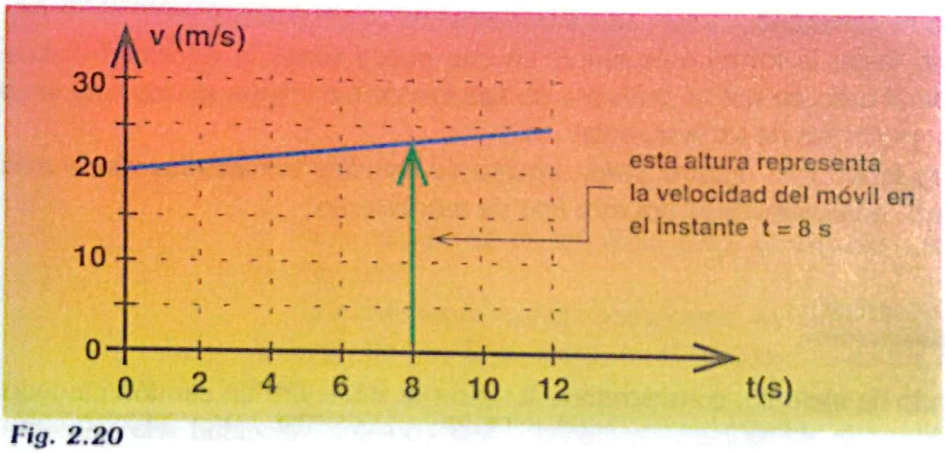


Fig. 2.20

Por su parte, la expresión Δx representaba la diferencia entre dos valores de la variable x , y correspondía al desplazamiento que experimentaba el móvil en el intervalo considerado.

Veamos, esta vez, qué significado podemos atribuir a la expresión Δv.

Consideremos, en el gráfico de la figura anterior, el intervalo entre el instante t1 = 0 s y el instante t2 = 12 s.

La diferencia

$\Delta t = t2 - t1$

representa, al igual que el caso anterior, la duración del intervalo considerado.

Esta diferencia tiene un valor de 12 s, lo que indica que dicho intervalo tiene una duración de 12 s.

En el instante t1 = 0 s, la velocidad es v1 = 20 m/s .

En el instante t2 = 12 s la velocidad es v2 = 26 m/s.

Es fácil ver que la diferencia

$\Delta v = v2 - v1$

representa la variación que ha experimentado la velocidad en el intervalo entre t1 y t2 .

Tal como muestra la figura, esta variación de velocidad queda representada, en el gráfico, por la diferencia entre la altura correspondiente al instante t = 0 s y la altura correspondiente a t = 12 s.

Escaneado con CamScanner

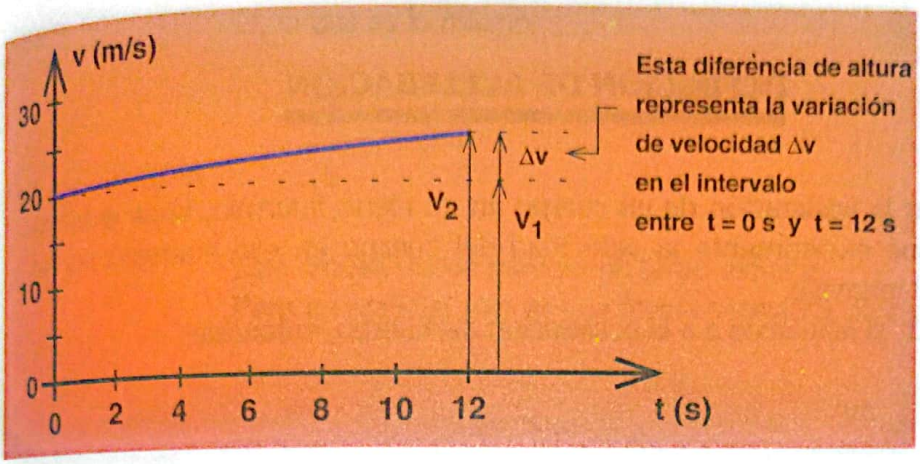


Fig. 2.21

El cociente Δv/Δt

Al analizar el gráfico x - t encontramos que el cociente Δx/Δt está relacionado con la pendiente de la gráfica y corresponde físicamente a la velocidad del móvil.

Esto nos sugiere la posibilidad de formar el cociente Δv/Δt .

¿Cuál es el significado físico de este cociente?

Con el fin de dar una respuesta a esta pregunta, analicemos sus propiedades.

• El cociente Δv/Δt será cero si la variación de velocidad Δv es cero. Es decir, si la velocidad del móvil es constante.

En ese caso, el gráfico v en función det será una recta horizontal.

• El cociente Δv/Δt será positivo si la variación de velocidad Δv es positiva. Es decir, si la velocidad está aumentando.

Esto queda representado en el gráfico v en función de t por una línea ascendente.

• El cociente Δv/Δt será grande si la velocidad del móvil experimenta un gran aumento en un breve intervalo de tiempo.

Ello corresponde en el gráfico v en función det a una línea muy inclinada.

• El cociente Δv/Δt será pequeño si la velocidad del móvil va aumentando lentamente, lo que aparece representado en el gráfico v en función det por una línea de escasa inclinación.

• El cociente Δv/Δt será negativo si la variación de velocidad Δv es negativa, es decir, si la velocidad del móvil está disminuyendo.

En el gráfico v en función de t esto aparece representado por una línea descendente.

Estas propiedades del cociente Δv/Δt han llevado a darle el nombre de aceleración.

De acuerdo con las propiedades que acabamos de ver, la aceleración mide la rapidez con que varía la velocidad de un cuerpo.

Si la velocidad con que se mueve un cuerpo es constante, su aceleración es cero. Si la velocidad está aumentando rápidamente, la aceleración será grande. Si la velocidad está aumentando, pero lentamente, la aceleración será pequeña.

En contraposición al significado que se da usualmente a la palabra aceleración en el lenguaje cotidiano, en Física hablaremos de aceleración incluso cuando la velocidad está disminuyendo.

En tal caso, la aceleración será negativa.

Esta definición es plenamente válida para movimientos rectilíneos.

Si la trayectoria no es una línea recta, entonces será necesario introducir una pequeña modificación relacionada con el significado que debemos dar, en tal caso, a la variación de la velocidad.

Escaneado con CamScanner

DEFINICIÓN DE ACELERACIÓN

Para calcular la aceleración de un cuerpo en un cierto intervalo, basta dividir la variación que experimenta la velocidad del cuerpo en ese intervalo por la duración del intervalo.

Es decir, si llamamos a a la aceleración del cuerpo, entonces:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Pero eso es tema para más adelante.

De acuerdo con la definición dada, debemos esperar que la aceleración sea grande si el móvil experimenta una gran variación de velocidad en un pequeño intervalo de tiempo. Es decir, si la velocidad está cambiando bruscamente.

La aceleración será pequeña, en cambio, si la variación de velocidad se realiza suavemente.

En el caso en que la velocidad se mantenga constante, independientemente de si su valor es grande o pequeño, la aceleración será cero, ya que no hay variación de velocidad.

¿En qué unidad se mide la aceleración?

Tratemos de determinar en qué unidades se mide la aceleración.

Sabemos que en el Sistema Internacional (SI), la velocidad y, por lo tanto, también la variación de velocidad, se miden en m/s.

A su vez, el tiempo se mide en s.

De aquí se desprende que la aceleración debe medirse en:

$$\frac{\frac{m}{s}}{s}$$

Esta unidad puede expresarse:

$$\frac{m}{s \cdot s}$$

Escaneado con CamScanner

O, lo que es lo mismo:

$$\frac{m}{s^2}$$

Esta unidad puede parecer un tanto extraña.
Pero en realidad sólo es una forma abreviada de escribir m/s dividido por s.

Actividades

1. En un test de potencia, un carro logra alcanzar, en 4 s, una velocidad de 24 m/s partiendo desde el reposo.

a) Dibuja el gráfico v en función de t que describe este movimiento.

b) Aplica la definición para determinar la aceleración que experimenta el carro durante el test.

2. Un tren de pasajeros parte desde una estación en el mismo momento en que por una vía paralela pasa un tren de carga viajando en la misma dirección. El tren de carga se mueve con una velocidad prácticamente constante de 15 m/s. El tren de pasajeros demora 200 s en alcanzar una velocidad de 24 m/s. Luego sigue con velocidad constante.

a) Representa en un mismo gráfico v en función de t el movimiento de ambos trenes para valores de t entre 0 s y 300 s.

b) De acuerdo con el gráfico, ¿en qué intervalo la velocidad del tren de carga fue mayor que la del tren de pasajeros?

c) ¿En qué instante ambos trenes se estaban moviendo con igual velocidad?

d) ¿En qué intervalo la ventaja que llevaba el tren de carga fue en aumento?

e) ¿A partir de qué instante el tren de pasajeros empezó a recuperar terreno?

3. Según Venancio, mientras más rápido se mueva un carro, mayor será su aceleración. ¿Qué opinas tú?

Escaneado con CamScanner

INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE FUERZA

Prosiguiendo nuestro paseo por el mundo físico, corresponde ahora entrar en contacto con otro importante concepto: el concepto de fuerza.

Este es un concepto muy antiguo. Ya los griegos lo emplearon en sus estudios acerca del movimiento de los cuerpos. Sin embargo, el concepto de fuerza que tenían los griegos dista bastante de nuestra noción actual y, para ser sinceros, deja mucho que desear.

Sólo en el siglo XVII los físicos lograron dar forma a una concepción adecuada acerca de las fuerzas y sus propiedades.

Tal vez te resulte extraño que los físicos hayan tenido dificultades para comprender un concepto tan cotidiano como el de fuerza, con el que tú estás familiarizado desde que eras pequeño.

Pero, ¡cuidado! ¿Estás seguro de que lo que tú entiendes por fuerza corresponde realmente al concepto correcto?

Diversas investigaciones muestran que el concepto de fuerza surge en el niño a temprana edad. En su interacción con el medio, ha debido aplicar fuerzas en innumerables ocasiones: para sostener un objeto pesado, para empujar un carro, para tirar de una cuerda, para abrir una botella de refresco, etc. Como resultado de estas acciones, se ha ido formando un concepto de fuerza amplio y sólido.

Desgraciadamente, este concepto nacido espontáneamente adjudica a las fuerzas propiedades que no corresponden a la realidad y que, por ello, entran en contradicción con las nociones físicas actualmente aceptadas.

Es muy posible que el concepto de fuerza que tú posees contenga aún apreciaciones erradas.

Por eso, al tratar el concepto iremos avanzando paso a paso.

La fuerza como un tipo de acción de un cuerpo sobre otro

Fig. 2.22

Examinemos algunos ejemplos de fuerzas:

un elefante empuja un árbol hasta derribarlo;

la locomotora de un tren tira de los carros;

el Sol atrae a la Tierra;

un imán repele a otro imán;

el cable sostiene al ascensor impidiendo que caiga;

la raqueta impulsa a la pelota en un partido de tenis;

el aire ejerce una resistencia al movimiento de un automóvil.

En todos estos casos hay un objeto que ejerce una fuerza sobre otro objeto: un objeto empuja a otro, tira de él, lo atrae, lo repele, lo impulsa, lo frena.

La fuerza es, pues, un tipo de acción que un cuerpo ejerce sobre otro.

Escaneado con CamScanner

En una primera aproximación, diremos que una fuerza es un tipo de acción que un cuerpo ejerce sobre otro.

Esto significa que, para poder hablar de la existencia de una fuerza, debemos suponer la presencia de dos cuerpos: debe haber un cuerpo que ejerza la fuerza y otro cuerpo que reciba la acción de la fuerza.

Es decir, debe haber un cuerpo que atraiga y otro que sea atraído; un cuerpo que empuje y otro que sea empujado, etc.

Empleando el lenguaje de las novelas policiacas, podemos decir que siempre hay un victimario –el objeto que ejerce la fuerza– y una víctima –el objeto sobre el cual la fuerza está actuando.

En otras palabras, si observamos que sobre algún cuerpo está actuando una fuerza, entonces podemos predecir que, en algún lugar, hay otro cuerpo –u otros cuerpos– que constituye el origen de esa fuerza.

De lo anterior se desprende, además, otra conclusión importante: un cuerpo no puede ejercer fuerza sobre sí mismo.

Fig. 2.23

Es verdad que una parte de un cuerpo puede ejercer fuerza sobre otra parte del mismo cuerpo. Tal es el caso, por ejemplo, cuando con una mano ejercemos presión sobre la otra.

Pero un objeto, considerado como un todo, no puede ejercer fuerza sobre sí mismo.

Si deseas mantenerte suspendido a cierta altura sobre el suelo, necesitarás que alguna otra persona o algún objeto ejerza sobre tí una fuerza hacia arriba. Jalarte de los cabellos no es ninguna solución.

Representación gráfica de las fuerzas

Otra característica que conviene destacar es que toda fuerza siempre es ejercida en una determinada dirección: puede ser hacia arriba o hacia abajo, hacia adelante, hacia la izquierda, formando un ángulo dado con la horizontal, etcétera.

Por este motivo, podemos representar gráficamente una fuerza mediante un "vector".

Los vectores son entes matemáticos especialmente indicados para representar magnitudes que, como la fuerza, están asociadas a una dirección en el espacio.

Sus propiedades los convierten en un instrumento de gran utilidad en muchos campos de la Física. Poco a poco nos iremos familiarizando con ellos.

Escaneado con CamScanner

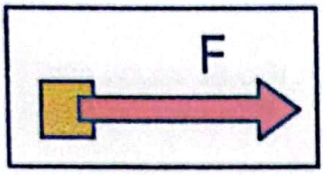


Fig. 2.24 Una fuerza actuando sobre un cuerpo.

Por el momento, el vector será simplemente una flecha que emplearemos para representar gráficamente una fuerza.

En esta representación, el vector proporciona una doble información.

Por una parte, su orientación indica la dirección en la que se está ejerciendo la fuerza.

Por otra parte, su longitud representa la magnitud de la fuerza. Si queremos indicar que dos fuerzas son de igual magnitud, dibujamos vectores de igual longitud. A su vez, un vector más largo representa una fuerza mayor y un vector más corto representa una fuerza más débil.

Al representar gráficamente una fuerza, es conveniente guiarse por la siguiente convención:

El vector que representa una fuerza se dibuja a partir del cuerpo que recibe la acción de la fuerza y en la dirección en que la fuerza es ejercida.

CONVENCIÓN PARA LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UNA FUERZA

El vector que representa una fuerza se dibuja a partir del cuerpo que recibe la acción de la fuerza y en la dirección en que la fuerza es ejercida.

De esta manera, la representación no sólo informa acerca de la dirección y la magnitud de la fuerza, sino que también indica al cuerpo sobre el cual está actuando la fuerza.

Un dato queda fuera de esta representación: el cuerpo que ejerce la fuerza. Pero, ¿qué le vamos a hacer? No todo puede ser perfecto.

Tal vez te habría parecido más lógico dibujar el vector a partir del cuerpo que ejerce la fuerza. Sin embargo, la experiencia muestra que la convención propuesta resulta, en la mayor parte de los casos, mucho más conveniente.

Nosotros estamos proponiendo que el vector se dibuje partiendo desde el cuerpo que recibe su acción y no desde el cuerpo que ejerce la fuerza.

Al dibujar las fuerzas en esta forma, estamos fijando nuestra atención en el cuerpo sobre el cual la fuerza actúa. Y los efectos que tendrá la fuerza se manifestarán necesariamente en ese cuerpo y no en el cuerpo que ejerce la fuerza.

Efectos producidos por una fuerza

Una fuerza, al actuar sobre un cuerpo, puede producir efectos sobre la forma del cuerpo. También puede producir efectos sobre su movimiento.

Por una parte, puede producir deformaciones en el cuerpo: el cuerpo se dobla, se rompe, se estira, etcétera. Por otra parte, la fuerza puede producir cambios en el movimiento que tiene el cuerpo.

Escaneado con CamScanner

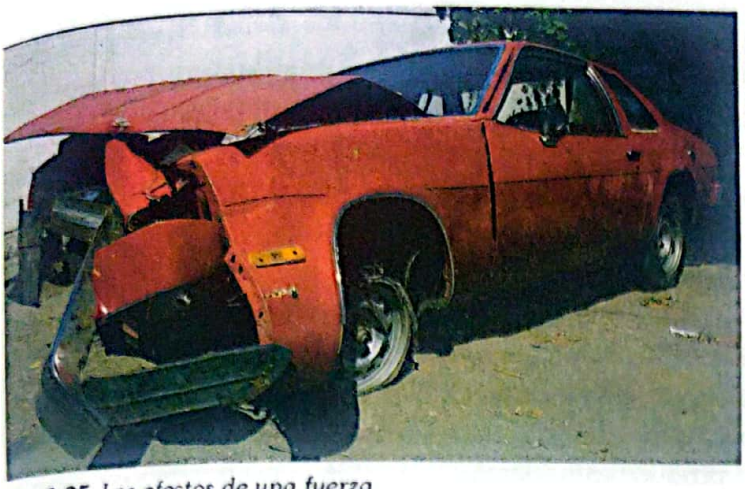


Fig. 2.25 *Los efectos de una fuerza.*

Así, vemos que una fuerza puede poner en movimiento a un objeto que está en reposo.

O puede detener a un cuerpo que está ya en movimiento.

Puede aumentar o disminuir su velocidad.

O puede cambiar la dirección en que se está moviendo.

Actividades

1. A continuación se hace referencia a algunas fuerzas. Indica, en cada caso, cuál es el cuerpo que ejerce la fuerza aludida y cuál es el cuerpo que recibe la acción de ella:

a) Sonia empuja a Alicia.

b) En el puerto, una grúa sostiene un cajón de frutas.

c) La carreta avanza jalada por los bueyes.

d) El aire opone resistencia al movimiento del camión.

2. a) Menciona ejemplos en que un objeto inanimado ejerce fuerza sobre otro objeto inanimado.

b) Menciona ejemplos en que un objeto inanimado ejerce fuerza sobre una persona.

c) Menciona ejemplos en que un líquido ejerce fuerza sobre un objeto sólido.

d) Menciona ejemplos en que dos objetos se ejercen fuerzas mutuamente.

3. Lalo empuja a Pepe. ¿En cuál de las figuras siguientes la fuerza que Lalo ejerce sobre Pepe se ha representado de acuerdo con la convención propuesta en el texto?

4. La Tierra y la Luna se atraen mutuamente. ¿Cuál de las siguientes figuras representa mejor esta situación?

Fig. 2.26

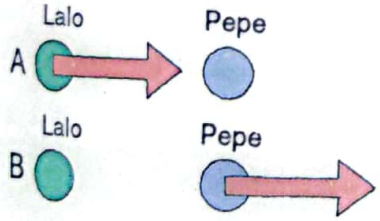
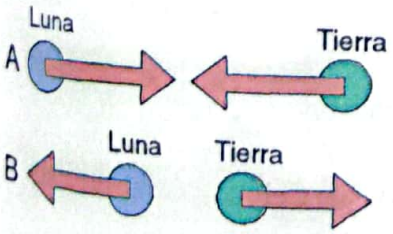


Fig. 2.27



5. Completa las figuras dibujando los vectores que representan a las fuerzas que se mencionan en cada caso.

a) La grúa sostiene un cajón lleno de frutas.

b) En una competencia, un atleta lanza la bala a gran distancia.

6. Representa esquemáticamente cada una de las situaciones siguientes. Para ello, representa cada imán mediante un pequeño círculo o un pequeño cuadrado y dibuja luego las fuerzas a las que se hace referencia.

a) Dos imanes se repelen mutuamente.

b) Dos imanes se atraen mutuamente.

7. Andrea sostiene una pesada maleta de viaje.

a) ¿Ejerce fuerza Andrea sobre la maleta?

b) ¿En qué dirección?

c) Dibuja esta fuerza.

d) ¿Ejerce fuerza la maleta sobre Andrea?

e) ¿En qué dirección?

Escaneado con CamScanner

Fig. 2.28

f) Dibuja esta fuerza.

8. Un camión cargado con madera se dirige al puerto. Por una mala maniobra de su conductor, el camión se estrella contra un poste al borde del camino.

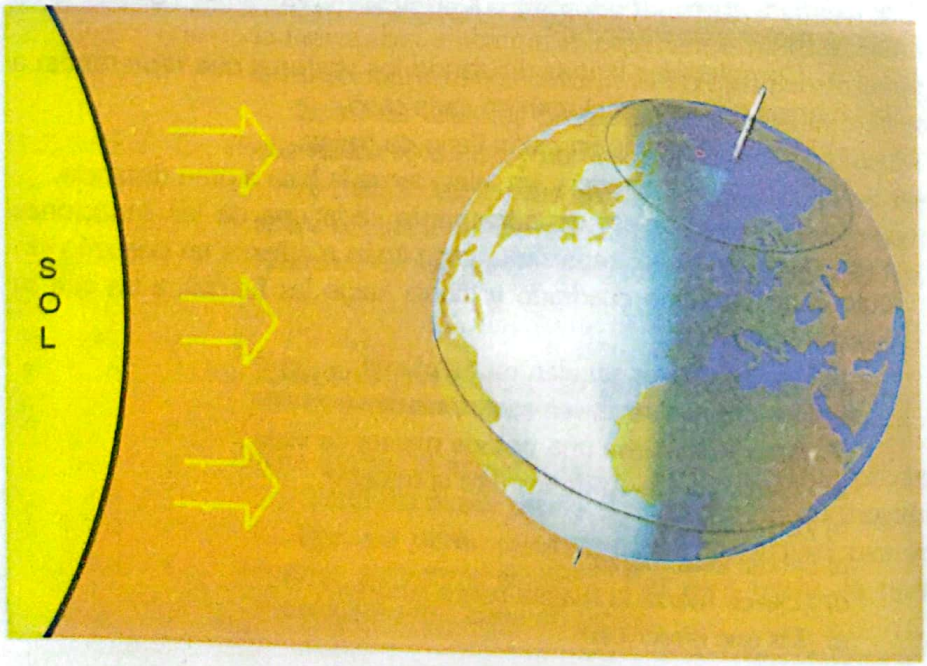
a) Ejerce fuerza el camión sobre el poste durante el choque?
b) En qué dirección?
c) Dibuja esta fuerza.
d) Qué efectos produce esta fuerza?
e) Ejerce fuerza el poste sobre el camión durante el choque?
f) En qué dirección actúa la fuerza que el poste ejerce sobre el camión?
g) Dibuja esta fuerza.
h) ¿Qué efectos produce esta fuerza?

9. Una maceta cae desde un balcón estrellándose contra el suelo.

a) Ejerce fuerza la maceta sobre el suelo durante el choque?
b) En qué dirección?
c) Dibuja esta fuerza.
d) Qué efectos produce esta fuerza?
e) Ejerce fuerza el suelo sobre la maceta durante el choque?
f) ¿En qué dirección?
g) Dibuja esta fuerza.
h) ¿Qué efectos produce esta fuerza?

10. Como sabes, el Sol ejerce una fuerza de atracción sobre la Tierra.

a) Dibuja esa fuerza.
b) ¿Qué efectos produce dicha fuerza?



Escaneado con CamScanner

LOS CUATRO TIPOS DE FUERZA DE LA NATURALEZA

El estudio de las fuerzas, de su naturaleza, de sus propiedades, se ha convertido en las últimas décadas en un tema de especial interés para los físicos.

Desde luego, vale la pena destacar que la Física contemporánea ha modificado un tanto el concepto mismo de fuerza. Hoy día se prefiere hablar de interacciones para referirse a las fuerzas.

No se trata de un simple cambio de nombre. Lo que hoy día un físico entiende por interacción es algo más amplio y más profundo que el tradicional concepto de fuerza.

Pero no nos apresuremos. Por el momento, continuaremos utilizando la palabra fuerza. Más adelante tendremos oportunidad de mencionar algunas de las modificaciones introducidas al concepto en el siglo XX.

El análisis de las diferentes fuerzas que se presentan en la Naturaleza ha llevado a los físicos a la conclusión de que todas ellas pueden agruparse en cuatro grandes familias:

- la interacción gravitatoria,
- la interacción electromagnética,
- la interacción fuerte, y
- la interacción débil.

La interacción gravitatoria incluye las fuerzas que el Sol ejerce sobre los planetas, las fuerzas que las galaxias se ejercen mutuamente, la fuerza que la Tierra ejerce sobre cada uno de nosotros.

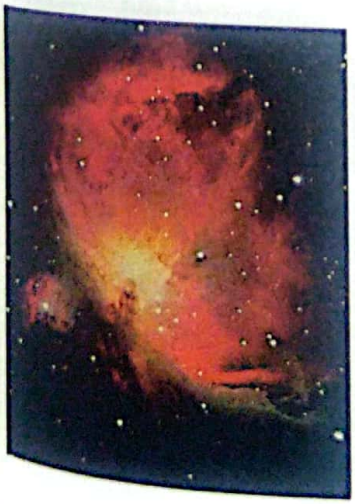
Es un tipo de fuerza que está siempre presente. Todo cuerpo ejerce una fuerza gravitatoria sobre todo cuerpo que está a su alrededor. Pero, en la mayor parte de los casos, esta fuerza gravitatoria es muy pequeña.

Sólo cuando por lo menos uno de los dos cuerpos involucrados es suficientemente grande, esta fuerza se hace sentir.

La interacción electromagnética tiene lugar solamente entre cuerpos que están dotados de carga eléctrica.

Es el tipo de fuerza que mantiene a los electrones en las cercanías del núcleo en un átomo y es responsable de las fuerzas intermoleculares en el interior de un cuerpo.

Fig. 2.29



Aunque te parezca extraño, la fuerza que tú ejerces al empujar o jalar un objeto cualquiera es también de este tipo.

La interacción fuerte es la fuerza que mantiene unidos a los neutrones y protones que constituyen el núcleo en cada átomo.

Es una fuerza extraordinariamente intensa, pero que sólo se ejerce entre objetos que se encuentran a muy pequeña distancia entre sí.

La interacción débil es un tipo de fuerza que actúa en algunas reacciones entre partículas elementales en el mundo del átomo.

Lograr reducir toda la diversidad de fuerzas a sólo cuatro familias es, sin duda, un tremendo avance.

Pero los físicos no se muestran satisfechos. A ellos les gustaría poseer una gran teoría unificadora en la que estos cuatro tipos de fuerzas fueran

Escaneado con CamScanner

Fig. 2.30 Tal vez tú recibas algún día el Premio Nobel

sólo manifestaciones diferentes de una única fuerza.

Algunos consideran, incluso, que el objetivo principal de la Física contemporánea es encontrar esta gran teoría unificadora.

En los últimos años se han obtenido algunos éxitos importantes en la unificación de tres de las cuatro fuerzas. Pero las fuezas gravitatorias se niegan terminantemente a unirse con las demás.

Si tú quisieras dedicarte a la Física y lograras crear una teoría que unifique los cuatro tipos de fuerzas existentes, te podemos garantizar que obtendrás el Premio Nobel.

Pero debes apurarte. Hay muchos cerebros que ya están trabajando por lograr esta gran teoría unificadora.

Una fuerza importante: el peso

Corresponde hacer algunas consideraciones acerca de un par de fuerzas que tú ya conoces y que encontraremos con frecuencia en los próximos capítulos.

La primera prioridad, en este sentido, la tiene el peso.

En Primer Grado, tuvimos oportunidad de hablar someramente acerca del peso.

Tal como dijimos entonces, el peso de un cuerpo es un caso especial de fuerza.

La Tierra, como todo cuerpo, ejerce fuerzas gravitatorias sobre todos los objetos situados a su alrededor. Mientras más lejos se encuentren los demás objetos, más débil es la fuerza con que la Tierra los atrae.

Al hablar de la fuerza llamada peso, estamos refiriéndonos a un caso especial de las fuerzas gravitatorias ejercidas por la Tierra. Se trata de la fuerza que el planeta ejerce sobre los objetos situados en su superficie o muy cerca de ella.

A esta fuerza de atracción que la Tierra ejerce sobre cada objeto situado en las cercanías de su superficie se le da el nombre de peso.

Llamamos peso de un cuerpo a la fuerza con que la Tierra atrae a este cuerpo cuando él se encuentra situado en la superficie del planeta o muy cerca de ella.

Escaneado con CamScanner

Conviene subrayar que el peso es una fuerza. No es, por lo tanto, una propiedad del cuerpo. Es una acción que ejerce la Tierra sobre el cuerpo, una fuerza de atracción.

Esta fuerza que hemos llamado peso está siempre dirigida hacia abajo, es decir, hacia el centro del planeta.

Si bien el concepto de peso es aplicable sólo a objetos que están situados en la superficie de la Tierra, podemos, por generalización, hablar también del peso de un cuerpo en la Luna o del peso de un cuerpo en Marte o en otro planeta.

Las fuerzas de roce

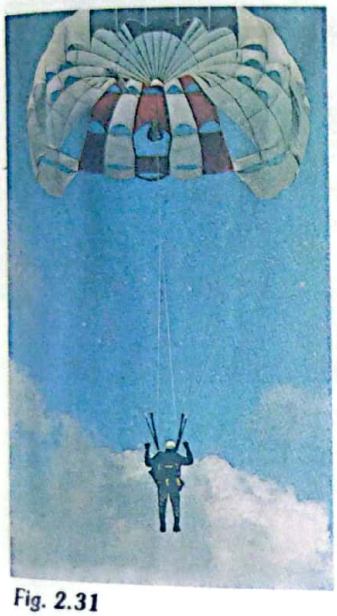


Fig. 2.31

Otro caso muy frecuente corresponde a las distintas fuerzas que se conocen con el nombre genérico de fricción o roce.

Por su enorme variedad, no es fácil -ni tampoco necesario- tratar de dar una definición de roce. Nos conformaremos aquí con dar una caracterización de algunos tipos de roce.

Un tipo muy común se presenta cuando tratamos de deslizar una superficie sobre otra.

La fuerza que frena a un carro es precisamente el roce de las ruedas contra el pavimento.

Otro tipo de roce se produce cuando se mueve un objeto en agua o en el aire.

En este caso, se habla también de la resistencia que ofrece el agua o el aire.

El roce tiene una extraordinaria importancia práctica.

Los ingenieros están en permanente contacto con esa fuerza y hacen lo imposible para disminuir el roce en algunos casos y por aumentarlo, en otros casos.

Fig. 2.32 *La forma de un automóvil de carrera está diseñada para disminuir al mínimo la resistencia al aire*

Para desgracia de ellos, mientras más estudiamos el roce, más nos convencemos de que es una fuerza sumamente compleja.

Pero al mismo tiempo aprendemos, a modo de consuelo, que es posible obtener algunas leyes relativamente simples para trabajar con el roce, siempre que no exijamos demasiada precisión.

Así, por ejemplo, para un objeto en movimiento, la fuerza de roce que opone el aire depende de tres factores:

- depende de la velocidad con que se mueve el objeto;
- depende de su tamaño, y
- depende de su forma.

Si queremos disminuir la resistencia que

Escaneado con CamScanner

ofrece el aire al movimiento de un objeto, tenemos tres posibilidades: disminuir su velocidad, disminuir su tamaño o modificar su forma.

Por su parte, en el caso del roce que surje al deslizar dos superficies en contacto, la fuerza de roce depende, por una parte, de la fuerza con que ambas superficies presionan una contra la otra.

Y depende también del grado de suavidad o aspereza de las superficies en contacto o de la eventual presencia en ellas de humedad o impurezas.

El objetivo de los lubricantes es, precisamente, suavizar el deslizamiento de las superficies en contacto, con lo cual disminuye apreciablemente la fuerza de roce.

Actividades

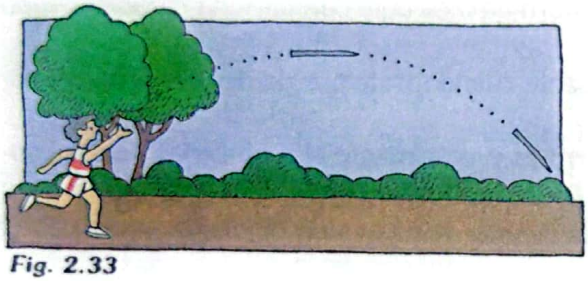


Fig. 2.33

1. La figura muestra una jabalina durante el vuelo. En cada una de las posiciones dadas, dibuja el peso de la jabalina.

2. Dibuja una esfera que va rodando por un plano inclinado. Mediante un vector, representa el peso de la esfera.

3. El mono Atila vive en la ciudad de Quito. En cambio, el oso Aiko vive en el Polo Norte. ¿Qué dirección tiene el peso de cada uno de ellos?

4. ¿Sobre quién ejerce mayor fuerza la Tierra: sobre Juancho, que es gordo y alto, o sobre Manolo, que es pequeño y flaco?

5. a) Formula una definición para el peso de un cuerpo en la Luna.

b) ¿Cómo es el peso de una persona en la Luna comparado con su peso en la Tierra?

6. ¿Por qué es difícil mover un ropero de un extremo a otro de la habitación: porque su peso es muy grande o porque el roce es muy grande? Fundamenta tu respuesta y propón algún procedimiento que permita facilitar el traslado del ropero.

7. Dibuja esquemáticamente un avión en vuelo y representa mediante un vector la fuerza de roce que opone el aire.

8. Discute el papel que desempeñan las fuerzas de roce en algún proceso productivo de tu región.

9. ¿Por qué puede ser muy peligroso que se derrame petróleo en una carretera?

10. a) ¿Qué se entiende por forma aerodinámica?

b) ¿Qué objetivo persigue el dar a un vehículo una forma aerodinámica?

11. a) Relata una experiencia vivida en la que se muestre que la resistencia que opone el agua al movimiento de un objeto depende de la velocidad con que se mueve dicho objeto.

b) Relata experiencias que ilustran características interesantes de las fuerzas de roce.

Escaneado con CamScanner

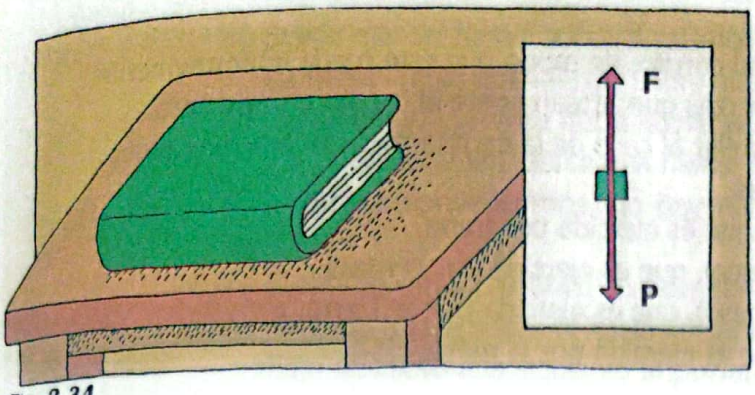


Fig. 2.34

Más de una fuerza actuando sobre un cuerpo

Es difícil encontrar situaciones en las que sobre un cuerpo actúe una única fuerza.

Lo más frecuente es que sobre el cuerpo estén actuando varias fuerzas simultáneamente.

Consideremos, a modo de ejemplo, un libro colocado sobre una mesa.

Sabemos que sobre el libro actúa su peso (P), es decir, una fuerza que ejerce la Tierra hacia abajo.

Pero también la mesa ejerce una fuerza sobre el libro. La fuerza que ejerce la mesa (F) está dirigida hacia arriba . Esta fuerza es la que impide que el libro caiga.

Es decir, sobre el libro están actuando dos fuerzas.

Consideremos un segundo ejemplo.

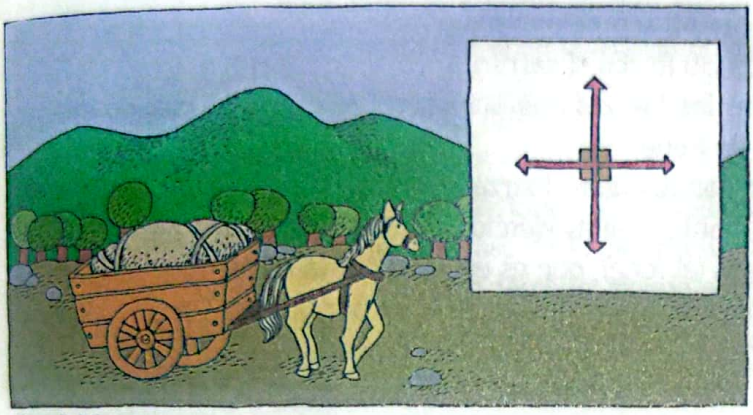


Fig. 2.35

La figura muestra una carreta jalada por un caballo. Sobre la carreta están actuando cuatro fuerzas:

a) una, hacia adelante, que ejercen el caballo;

b) el roce, hacia atrás, que ejerce el camino;

c) el peso, hacia abajo, que es ejercido por la Tierra, y

d) una fuerza que el camino ejerce hacia arriba y que impide que la carreta se hunda en el suelo.

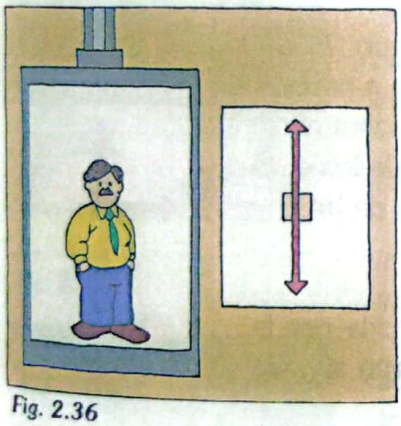


Fig. 2.36

Algo similar se da en el caso de un ascensor que está subiendo.

Esta vez tenemos tres fuerzas actuando sobre el ascensor:

a) el peso, que actúa hacia abajo;

b) la fuerza que el cable ejerce hacia arriba, y

c) el roce, que actúa hacia abajo, puesto que el ascensor está subiendo.

Fig. 2.37

La fuerza inexistente

Ahora estamos en condiciones de analizar una situación que nos ha de conducir a una conclusión de especial relevancia para nuestro estudio.

Consideremos un carrito que puede desplazarse sobre una mesa.

Analizaremos tres casos, poniendo especial atención en las diferentes fuerzas que actúan sobre el carrito.

Escaneado con CamScanner

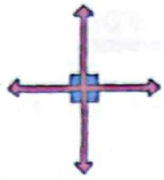


Fig. 2.38

Caso 1

Irene está empujando al carrito, de modo que éste rueda uniformemente. Dibujemos todas las fuerzas que actúan sobre el carrito en este caso.

La situación es muy similar al caso de la carreta mencionada más arriba.

Tenemos cuatro fuerzas:

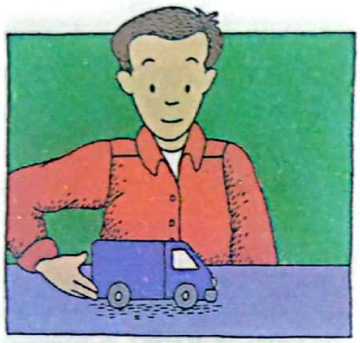
a) una hacia adelante, que es ejercida por Irene;
b) una hacia atrás (el roce), que es ejercida por la mesa;
c) una hacia abajo (el peso), que es ejercida por la Tierra, y
d) una hacia arriba, que es ejercida por la mesa.

Caso 2

Analicemos ahora un segundo caso.

Irene da un impulso inicial al carrito.

Dibujemos todas las fuerzas que actúan sobre el carrito cuando está recibiendo el impulso de Irene.



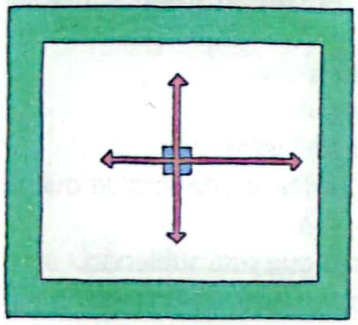


Fig. 2.39

Tenemos nuevamente cuatro fuerzas:

a) una hacia adelante, que es ejercida por Irene;
b) una hacia atrás (el roce), que es ejercida por la mesa;
c) una hacia abajo (el peso), que es ejercida por la Tierra, y
d) una hacia arriba, que es ejercida por la mesa.

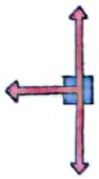
Caso 3

Los casos analizados no han traído sorpresas.

Consideremos un tercer caso.

Irene ha dado un impulso inicial al carrito. El carrito rueda sobre la mesa y se va deteniendo poco a poco.

Fig. 2.41

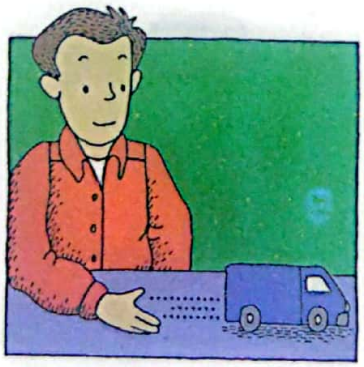


Dibujemos todas las fuerzas que actúan sobre el carrito después de que ha recibido el impulso de Irene. El carrito ya ha perdido contacto con la mano de Irene y va rodando sobre la mesa.

Esta vez tenemos las siguientes fuerzas:

a) una hacia atrás (el roce), que es ejercida por la mesa y que tiene como resultado que el carrito se vaya deteniendo poco a poco;

Fig. 2.40



b) una hacia abajo (el peso), que es ejercida por la Tierra;

c) una hacia arriba, que es ejercida por la mesa y que impide que el carrito se hunda.

Contrariamente a lo que algunas personas piensan, en este caso no hay ninguna fuerza actuando sobre el carrito hacia adelante.

Para que ello quede claro, basta preguntarse quién podría estar ejerciendo una fuerza hacia adelante.

Irene no puede ser, ya que su mano dejó de estar en contacto con el carrito.

El propio carrito tampoco puede ser, ya que hemos visto que un cuerpo

Escaneado con CamScanner

no puede ejercer fuerza sobre sí mismo.

La mesa ejerce dos fuerzas sobre el carrito –una hacia arriba y otra hacia atrás– pero no ejerce ninguna fuerza hacia adelante.

La Tierra también ejerce una fuerza sobre el carrito, pero hacia abajo.

Debemos convencernos: no hay nadie ejerciendo fuerza sobre el carrito hacia adelante.

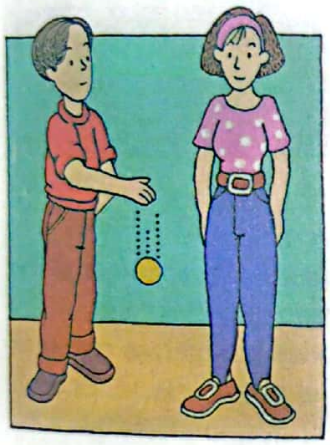
Dicho en otras palabras: cuando el carrito va rodando sobre la mesa, no está actuando ninguna fuerza sobre él hacia adelante.

Esto nos lleva a la siguiente importantísima conclusión:

> Para que un cuerpo se esté moviendo, no es necesario que haya una fuerza actuando sobre él en la misma dirección del movimiento.

En algunas situaciones, efectivamente puede existir una fuerza hacia adelante. Tal era el caso de la carreta tirada por los bueyes.

Fig. 2.42



Pero también puede suceder que no haya ninguna fuerza hacia adelante, como en el caso del carrito que Irene hizo rodar.

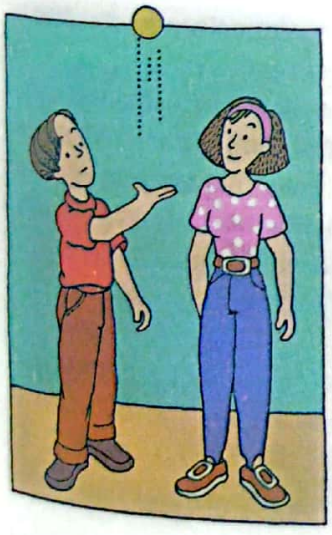
¿Qué factores determinan el movimiento de un objeto?

Hemos visto anteriormente que las fuerzas que actúan sobre un cuerpo influyen sobre su movimiento.

En efecto, las fuerzas pueden modificar la velocidad con que se mueve un cuerpo o pueden hacerlo cambiar de dirección.

Es necesario una fuerza para poner en movimiento un cuerpo que se encuentra en reposo, o para detener un cuerpo que se encuentra en movimiento.

Fig. 2.43



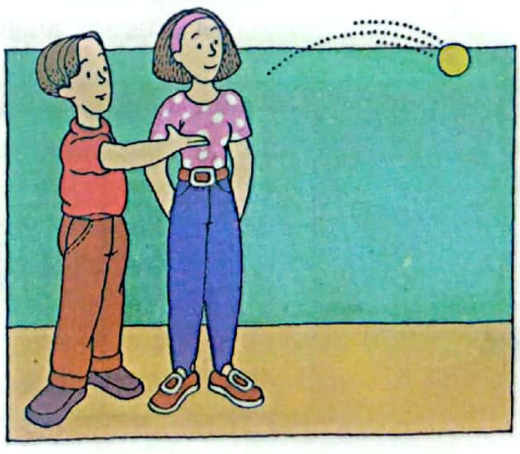
Es necesario una fuerza para aumentar la velocidad de un objeto.

Y es necesario una fuerza para disminuir su velocidad.

Sin embargo, las fuerzas que actúan sobre el cuerpo no constituyen el único factor que influye sobre el movimiento.

Para aclarar mejor esta idea, consideremos el movimiento de un cuerpo sobre el cual actúa una única fuerza: su propio peso.

Fig. 2.44



Escaneado con CamScanner

Un caso típico es el movimiento de una piedra lanzada al aire, si suponemos que el roce es suficientemente pequeño como para poder olvidarnos de él.

Si soltamos la piedra desde cierta altura, se moverá verticalmente hacia abajo con velocidad cada vez mayor.

Si la piedra es lanzada hacia arriba, se moverá verticalmente hacia arriba con velocidad decreciente para luego empezar a caer con velocidad creciente.

Si la piedra es lanzada oblicuamente, describirá una trayectoria curva.

En cada uno de estos casos, la piedra muestra diferentes movimientos, a pesar de que en los tres casos ha actuado sobre ella la misma fuerza: su peso.

La diferencia estriba en el movimiento inicial de la piedra. Es decir, en el movimiento que tenía la piedra en el momento en que dejaron de actuar las demás fuerza.

En el primer caso, la piedra estaba en reposo.

En el segundo caso, se estaba moviendo hacia arriba.

En el tercer caso, se movía formando un cierto ángulo con la horizontal.

Vemos que el movimiento de un cuerpo está determinado por dos factores:

a) el movimiento que él poseía inicialmente, y

b) las fuerzas que están actuando ahora sobre él.

Es importante recalcar este hecho, porque a veces tenemos la tendencia a olvidar el primero de los factores y a suponer que el movimiento del cuerpo queda determinado sólo por las fuerzas que actúan sobre él.

Introducción al concepto de fuerza neta

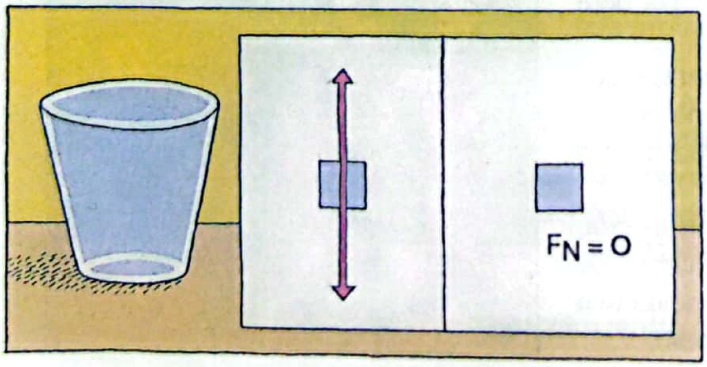
Para tratar situaciones en que actúan varias fuerzas simultáneamente sobre un mismo cuerpo, resulta conveniente introducir el concepto de fuerza neta.

La experiencia muestra que es posible reemplazar a todas las fuerzas que están actuando sobre un cuerpo por una sola fuerza que produce el mismo efecto. Es decir, siempre es posible encontrar una única fuerza que produce el mismo efecto que todas las fuerzas actuando simultáneamente. De esta manera, se simplifica mucho la situación que estemos estudiando.

A esta única fuerza, que produce el mismo efecto que todas actuando simultáneamente, la llamamos fuerza neta.

Si estamos analizando el caso de un cuerpo sobre el cual están actuando varias fuerzas a la vez, podemos simplificar la situación, reemplazando a todas esas fuerzas por la fuerza neta. De esta manera, la situación se reduce al caso de un cuerpo sobre el cual actúa una sola fuerza.

Fig. 2.45



¿Cómo encontrar la fuerza neta en una situación dada?

Para encontrar una respuesta a esta pregunta, se requiere echar mano a un nuevo tipo de suma: la suma vectorial.

No es el momento de hablar acerca de la suma

Escaneado con CamScanner

vectorial. Será objeto de estudio más adelante.

Por ahora, nos conformaremos con presentar algunos ejemplos muy sencillos que permiten acercarnos a la idea básica de esta suma.

Ejemplo 1

Consideremos el caso de un vaso que reposa sobre una mesa. Sabemos que sobre este vaso actúan dos fuerzas: una hacia abajo (el peso del vaso) y otra hacia arriba (que ejerce la mesa).

Ambas fuerzas se anulan mutuamente, de modo que todo sucede como si sobre este cuerpo no actuara ninguna fuerza.

Podemos decir, entonces, que la fuerza neta que actúa sobre el vaso es cero.

Ejemplo 2

Una pelota de futbol rueda sobre el césped después que un jugador le ha dado un impulso.

Como ya sabemos, sobre la pelota actúan tres fuerzas: una hacia abajo (el peso), una hacia arriba (ejercida por el piso) y una hacia atrás (el roce).

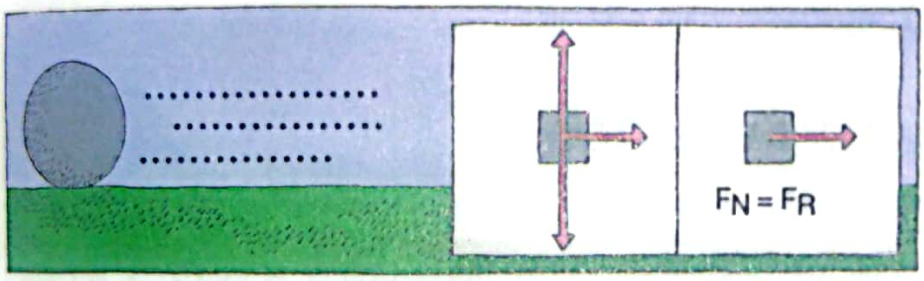


Fig. 2.46

Las dos primeras se anulan mutuamente. El movimiento de la pelota queda determinado, entonces, sólo por la fuerza de roce.

Este conjunto de las tres fuerzas que actúan sobre la pelota puede ser reemplazado por una única fuerza: el roce.

Podemos decir, por lo tanto, que la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo es igual al roce: tiene su misma magnitud y su misma dirección.

Actividades

1. En cada uno de los siguientes casos, dibuja todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo mencionado.

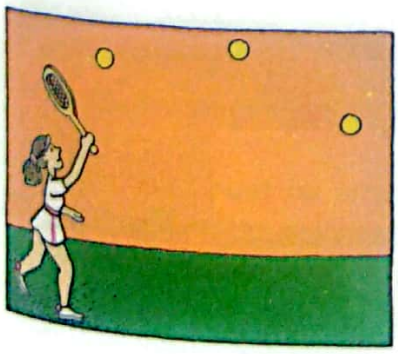
a) Hay un reloj colocado sobre un estante.

b) Un ascensor cuelga de un cable de acero.

c) El ascensor está subiendo del primero al quinto piso.

d) Un velero avanza impulsado por el viento.

Fig. 2.47



2. La figura representa tres posiciones del movimiento de una pelota de tenis.

a) En cada una de estas posiciones dibuja todas las fuerzas que actúan sobre la pelota suponiendo que el roce es muy pequeño para ser considerado.

b) Para cada una de las posiciones de la pelota de tenis, dibuja todas las fuerzas que actúan sobre la pelota suponiendo ahora que el roce es considerable.

Escaneado con CamScanner

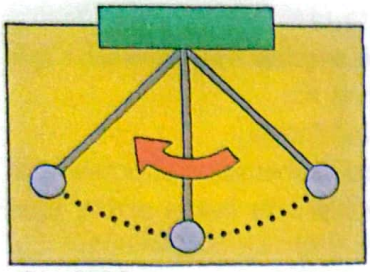


Fig. 2.48

3. Dibuja a la Tierra girando alrededor del Sol y dibuja todas las fuerzas que actúan sobre nuestro planeta.

4. La figura representa un péndulo oscilando. Dibuja todas las fuerzas que actúan sobre él en cada una de las posiciones indicadas.

5. Sobre un carrito actúa una única fuerza hacia la derecha.

a) ¿Cómo se moverá el carrito, si inicialmente se estaba moviendo hacia la derecha?

b) ¿Cómo se moverá el carrito, si inicialmente se estaba moviendo hacia la izquierda?

6. Una fuerza, al actuar sobre un cuerpo, puede producir un aumento de velocidad, una disminución de velocidad o una modificación de la dirección de movimiento. ¿De qué depende el que se verifique una u otra de estas tres posibilidades?

7. Esteban afirma que los cuerpos se mueven siempre en la dirección de la fuerza que actúa sobre ellos. ¿Qué opinas tú?

LA PRIMERA LEY DE NEWTON

Hemos llegado a un momento importante en nuestro curso: el estudio de la Primera Ley de Newton, también llamada Principio de Inercia.

Históricamente, el Principio de Inercia fue introducido por el físico italiano Galileo Galilei y enunciado luego, en una versión más precisa, por el físico y matemático inglés Isaac Newton, quien es contemporáneo de Cervantes y de Shakespeare.

El Principio de Inercia es uno de los logros de la revolución científica iniciada en el Renacimiento.

Se impone en el mundo científico, mientras en nuestro continente la colonización española y portuguesa se va consolidando en un doloroso proceso histórico.

Fig 2.49

El Principio de Inercia significó un vuelco impresionante en la percepción que se tenía del mundo físico, especialmente en lo referente al estudio de los movimientos.

Hasta entonces, prevalecía la idea de que todo cuerpo sobre el que no actúan fuerzas, inevitablemente termina por detenerse.

El Principio de Inercia altera sustancialmente esta concepción al afirmar que la fuerza es necesaria, no para mantener la velocidad de un cuerpo, sino para modificarla.

De acuerdo con esta nueva visión del mundo, en ausencia de fuerzas la velocidad de un cuerpo no puede variar.

Es decir, si el cuerpo estaba inicialmente en reposo, continuará en reposo. Y si estaba ya en movimiento, continuará moviéndose con la misma velocidad que tenía y en la misma dirección.

Analicemos esto con mayor detención.

Escaneado con CamScanner

¿Qué sucede si todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo se anulan entre sí?

El Principio de Inercia es una respuesta a la pregunta: ¿Qué sucede con el movimiento de un objeto si todas las fuerzas que actúan sobre él se contrarrestan entre sí?

Hemos visto que el movimiento de cada cuerpo está determinado por dos factores: el movimiento que inicialmente tenía y las fuerzas que actúan sobre él.

Supongamos, en primer lugar, que el cuerpo se encuentra inicialmente en reposo.

Si todas las fuerzas que actúan sobre él se contrarrestan entre sí, es fácil convencerse de que, en este caso, el cuerpo continuará en reposo.

Es decir:

Situación inicial:	El cuerpo está en reposo.
Fuerzas que actúan sobre él:	Se anulan.
Movimiento del cuerpo:	El continúa en reposo.

¿Qué sucedería ahora si el cuerpo ya estaba en movimiento?

Esta es la pregunta clave.

Para obtener una respuesta, imaginemos un experimento.

Sobre una superficie horizontal daremos un impulso a un cuerpo de modo que se deslice hacia la derecha.

Dibujemos todas las fuerzas que actúan en él después de haber recibido el impulso:

a) una hacia abajo (su peso);

b) una hacia arriba (ejercida por la mesa), y

c) una hacia la izquierda (el roce).

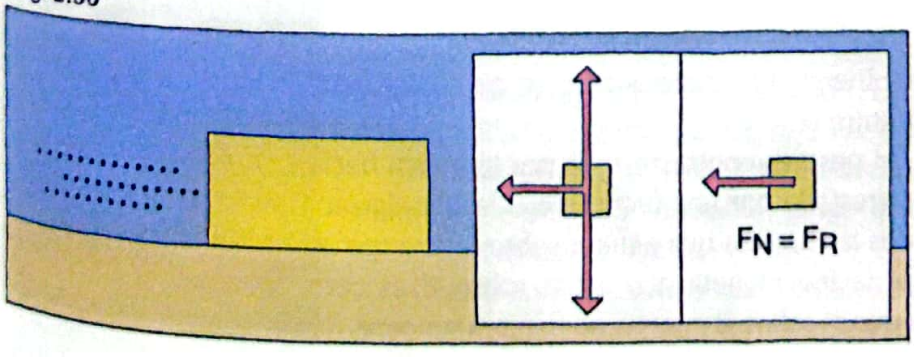
Las dos primeras se contrarrestan entre sí, de modo que podemos suponer que sólo actúa una fuerza: el roce.

Esta única fuerza actúa oponiéndose al movimiento.

Tenemos, entonces, un cuerpo que se está moviendo hacia la derecha y sobre el cual actúa una fuerza hacia la izquierda.

Por efecto de esta fuerza, la velocidad se hará cada vez menor, hasta que el cuerpo finalmente se detiene.

Fig. 2.50



¿Qué sucederá si disminuimos la fuerza de roce?

Ello puede hacerse, por ejemplo, colocando ruedas al cuerpo o lubricando la superficie.

En tal caso, el cuerpo demorará más en detenerse y recorrerá, por lo tanto, una

Escaneado con CamScanner

mayor distancia.

¿Y si disminuimos aún más el roce?

El cuerpo llegará más lejos.

¿Y qué sucedería si lográramos eliminar totalmente el roce?

Los experimentos anteriores parecen indicar que la causa de que el cuerpo disminuya su velocidad hasta detenerse es precisamente el roce.

Si no hay roce, es decir, si no hay ninguna fuerza actuando en dirección contraria, no habría razón para que la velocidad fuera disminuyendo.

Si todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo se anulan, entonces tampoco hay ninguna razón para que la velocidad aumente, o para que varíe la dirección en que se mueve el cuerpo.

Es decir, el cuerpo debería seguir indefinidamente en la misma dirección y con la misma velocidad que tenía inicialmente.

Es decir:

Situación inicial:	El cuerpo está en movimiento.
Fuerzas que actúan sobre él:	Se anulan.
Movimiento del cuerpo:	El cuerpo continua moviendose en línea recta y con velocidad constante.

El Principio de Inercia

Los resultados del experimento que acabamos de realizar en nuestra imaginación nos permiten formular ahora un enunciado para el Principio de Inercia:

Principio de Inercia

Si todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo se anulan mutuamente, entonces el cuerpo conserva su velocidad y la dirección de su movimiento.

El Principio de Inercia se refiere al caso en que todas las fuerzas que actúan sobre un objeto se anulan entre sí.

Por ejemplo: el peso es contrarrestado por la fuerza hacia arriba que ejerce el suelo, y el roce es contarrestado por una fuerza ejercida por alguien hacia adelante.

Decir que todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo se anulan entre sí es equivalente a decir que la fuerza neta que actúa sobre él es cero. Es decir, estamos en la misma situación que si sobre el cuerpo no actuara ninguna fuerza.

Escaneado con CamScanner

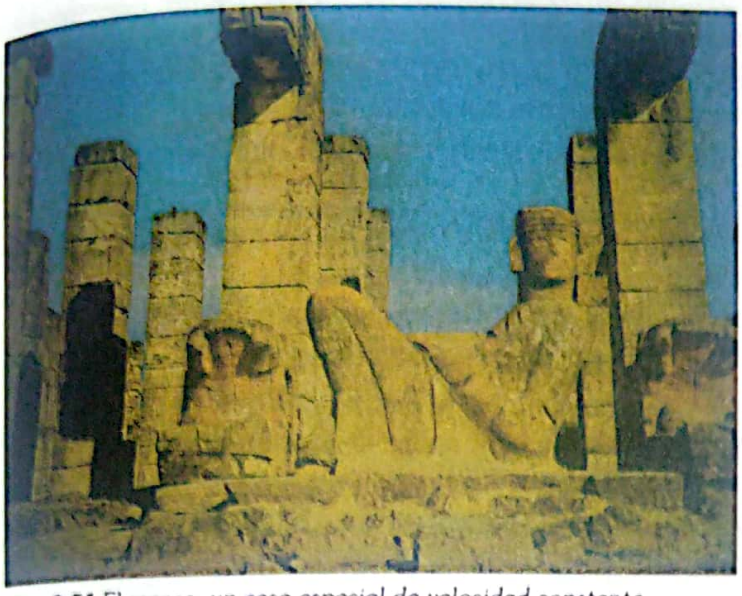


Fig. 2.51 *El reposo: un caso especial de velocidad constante*

Ahora bien. Al anularse entre sí todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, ninguna de ellas puede modificar la velocidad de éste.

En efecto: la velocidad no puede disminuir porque no hay ninguna fuerza capaz de frenar al cuerpo. La velocidad tampoco puede aumentar porque no hay ninguna fuerza que pueda acelerarlo.

Por lo tanto, la velocidad se mantiene inalterable.

Del mismo modo, la dirección en que se mueve el cuerpo no puede ser alterada, ya que todas las fuerzas que actúan sobre él se están anulando entre sí.

Por ello, el cuerpo se moverá necesariamente en línea recta.

Algo similar sucede en el caso de un cuerpo en reposo, es decir, cuando su velocidad es cero.

Si todas las fuerzas que están actuando sobre él se anulan entre sí, no queda ninguna capaz de modificar su velocidad.

La velocidad sigue siendo cero. Es decir, el cuerpo continúa en reposo.

Aplicando el Principio de Inercia

El Principio de Inercia, como toda ley física, permite aumentar la información que poseemos.

En efecto. Supongamos que tenemos la siguiente información acerca de un objeto determinado: se sabe que el objeto está en movimiento y se sabe, además, que todas las fuerzas que actúan sobre él se están anulando entre sí.

El Principio de Inercia permite predecir, sin temor a equivocarnos, que el cuerpo se moverá en línea recta y con velocidad constante.

A su vez, si vemos que un cuerpo se está moviendo con velocidad constante y en línea recta, podremos asegurar que todas las fuerzas que actúan sobre él se están anulando entre sí.

Fig. 2.52

Consideremos un par de ejemplos.

Ejemplo 1

Sobre la mesa hay un carrito detenido. Francisca desea mover el carrito con una velocidad constante de 1.5 m/s hacia la izquierda.

De acuerdo con el Principio de Inercia, si yo quiero que un cuerpo se mueva con velocidad constante, tengo que lograr que las fuerzas que actúan sobre él se anulen entre sí.

¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre el carrito? Una hacia abajo (el peso del carrito); una hacia arriba (que ejerce la mesa); una hacia la izquierda

Escaneado con CamScanner

(que ejerce Francisca); una hacia la derecha (el roce).

Las dos primeras se contrarrestan entre sí y no tienen ninguna intervención en el movimiento del carrito, que es un movimiento horizontal.

Por lo tanto, el movimiento del carrito dependerá de las otras dos fuerzas: la que ejerce Francisca y la fuerza de roce.

Inicialmente, Francisca debe aplicar una fuerza mayor que el roce, hasta que el carrito alcanza la velocidad deseada de 1.5 m/s.

A partir de ese instante, la fuerza que aplique Francisca deberá ser exactamente igual al roce para que el carrito se mueva con velocidad constante.

Ejemplo 2

Un ascensor cuelga de un cable de acero.

Supongamos que el roce es despreciable.

En tal caso, sobre el ascensor actúan sólo dos fuerzas: una hacia abajo (su peso) y una hacia arriba (la que ejerce el cable).

Fig. 2.53

Si el ascensor está subiendo con velocidad constante, podremos afirmar, con toda seguridad, que ambas fuerzas deben ser de igual magnitud ya que, para que la velocidad sea constante, las fuerzas que actúan sobre el ascensor deben contrarrestarse exactamente entre sí.

Lo mismo podemos decir si el ascensor está bajando con velocidad constante.

La concepción tradicional y la concepción nueva

Ya hemos dicho que el Principio de Inercia significó un cambio radical en las concepciones acerca del movimiento que imperaban en su tiempo.

Según la concepción tradicional, en ausencia de fuerzas, todo cuerpo en movimiento se detiene más tarde o más temprano.

Fig. 2.54

Según la concepción nueva, en ausencia de fuerzas, todo cuerpo en movimiento continúa moviéndose indefinidamente.

La concepción tradicional veía a las fuerzas como la causa del movimiento.

La concepción nueva ve a las fuerzas como la causa de las variaciones de velocidad.

La concepción tradicional consideraba que el reposo es esencialmente diferente del movimiento.

La concepción nueva considera que el reposo es sólo un caso especial de movimiento con velocidad constante.

Creemos que tú podrás darte cuenta de la profundidad de estos cambios.

Han transcurrido más de tres siglos desde que se formuló el Principio de Inercia. Sin embargo, aún hay muchas personas que continúan pensando como en los viejos tiempos.

En efecto, aún hay muchas personas que siguen creyendo que, para que

Escaneado con CamScanner

un cuerpo se mantenga en movimiento, es indispensable que sobre él esté actuando permanentemente una fuerza hacia adelante.

Suponemos que tú no estás entre esas personas. ¿O sí?

Actividades

1. Formula el Principio de Inercia empleando el concepto de "fuerza neta".

2. La nave espacial se está alejando del sistema planetario con una velocidad de 8 km/s . Se encuentra tan alejada de todo cuerpo celeste que podemos suponer que ninguna fuerza está actuando sobre ella. El capitán de la nave decide ahorrar combustible y da orden de desconectar todos los motores. ¿Qué sucederá con el movimiento de la nave?

3. Aníbal sostiene en su mano un libro. Sobre el libro actúan sólo dos fuerzas: su peso y la fuerza que Aníbal ejerce sobre él. ¿Cuál de estas dos fuerzas es mayor en cada uno de los siguientes casos?

a) Aníbal mantiene el libro en reposo a una altura de 1,4 m del suelo.

b) Aníbal empieza a mover el libro hacia arriba.

c) Aníbal mueve el libro hacia arriba con una velocidad constante de 0.05 m/s.

d) Aníbal mueve el libro hacia la derecha con una velocidad constante de 0.05 m/s.

e) Aníbal mueve el libro hacia abajo con una velocidad constante de 0.05 m/s.

f) Aníbal mueve el libro hacia arriba con una velocidad cada vez mayor.

g) Aníbal mueve el libro hacia arriba con una velocidad cada vez menor.

4. Susana y Ricardo saben que la Tierra se mueve alrededor del Sol y que la fuerza de atracción que el Sol ejerce sobre la Tierra desempeña un papel importante en ese movimiento.

Susana opina que la fuerza que ejerce el Sol es la que mantiene a la Tierra en movimiento.

Ricardo piensa que la fuerza que ejerce el Sol hace que la Tierra modifique constantemente la dirección de su movimiento.

¿Y tú, qué opinas?

5. Ernesto viaja hacia el Sur en un tren que se mueve con una velocidad constante de 120 km/h. Para evitar el aburrimiento, realiza experimentos de Física. Deja caer una pelota de pimpón y observa que la pelota cae justo a sus pies. Ahora abre la ventana del tren, saca su mano por la ventana y suelta la pelota. Esta vez, la pelota queda atrás.

¿Cómo explicarías tú, a la luz del Principio de Inercia, el resultado de los experimentos de Ernesto?

6. Ernesto ha colocado una segunda pelota de pimpón sobre el suelo del tren. Observa que la pelota se mantiene en reposo. De pronto, la pelota empieza a moverse hacia adelante. Ernesto le explica a su padre que ello puede deberse al movimiento del tren.

¿Estás de acuerdo con Ernesto? Explica.

7. El profesor explica que la Tierra realiza un movimiento de traslación alrededor del Sol y que, en ese movimiento, la Tierra se desplaza con una velocidad de alrededor de

Escaneado con CamScanner

30 km/s. Milena, sin embargo, no está de acuerdo. "Si fuera cierto", argumenta, "cualquier cosa que yo suelte desde cierta altura o que yo lance hacia arriba quedará rápidamente atrás y ya no la volvería a ver".

¿Tiene razón Milena?

8. La familia Méndez viaja hacia el norte en su carro haciendo uso de sus merecidas vacaciones. ¿En cuáles de los siguientes casos se puede asegurar que todas las fuerzas que actúan sobre el carro se contrarrestan entre sí?

a) El carro avanza por un camino horizontal con velocidad constante.

b) Debido a un imperdonable error de cálculo del señor Méndez, el vehículo ha quedado sin combustible y avanza con velocidad decreciente, deteniéndose poco a poco.

c) El carro está detenido en una estación de servicio tomando combustible.

d) El carro sube con velocidad constante por un camino recto que forma un ángulo de 5° con la horizontal.

d) El carro toma una curva del camino con una velocidad de 60 km/h.

LA SEGUNDA LEY DE NEWTON

Hemos dicho que la Primera Ley de Newton se refiere al caso en que todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo se anulan entre sí.

Es decir, esta ley se refiere al caso en que la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo es cero.

Y, tal como hemos visto, en esas condiciones el cuerpo conserva la velocidad con que se estaba moviendo inicialmente.

En otras palabras, si el cuerpo estaba en reposo y la fuerza neta que actúa sobre él es cero, entonces el cuerpo continuará en reposo.

Si el cuerpo estaba en movimiento y la fuerza neta que actúa sobre él es cero, entonces el cuerpo se moverá a lo largo de una trayectoria rectilínea y con velocidad constante.

Ahora bien. Si la fuerza neta no es cero, entonces debemos esperar cambios en la velocidad del cuerpo o cambios en la dirección de su movimiento.

La segunda Ley de Newton nos informa acerca de la relación que existe entre la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo y los cambios que experimenta su movimiento.

Este será el tema de las páginas que siguen.

Pero antes de entrar de lleno en materia, será necesario aclarar un par de conceptos importantes.

Recordemos, ante todo, la diferencia que existe entre los conceptos de peso y masa.

Escaneado con CamScanner

Fig. 2.55

Masa y peso: dos conceptos diferentes

Hemos definido al peso de un objeto como la fuerza con que la Tierra atrae a dicho objeto. El peso es, pues, una fuerza. Tiene dirección: hacia el centro del planeta. Puede ser representado por una flecha o por un vector.

El concepto de masa, en cambio, está asociado al número de protones y neutrones que contiene el cuerpo. En tal sentido, mide la cantidad de materia que contiene el cuerpo. No está asociado a ninguna dirección.

Fuera de la Tierra, ambas magnitudes tienen comportamientos diferentes.

A modo de jemplo, consideremos el viaje de un astronauta a la Luna.

Su masa allí será la misma que en la Tierra, ya que sigue siendo el mismo astronauta.

Pero su peso será muy diferente. Su peso en la Luna corresponde a la fuerza que la Luna ejerce sobre él. Y esta fuerza es aproximadamente un sexto de la fuerza con que la Tierra atraía al astronauta cuando estaba en la Tierra.

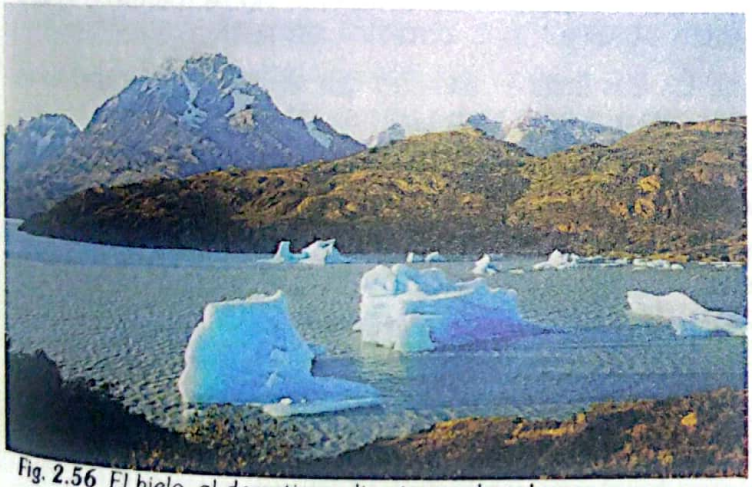


Fig. 2.56 *El hielo, al derretirse, disminuye de volumen.*

La masa no ha variado, pero el peso sí ha variado.

A veces –aunque con menos frecuencia–, se confunde asimismo el concepto de masa con el concepto de volumen.

Como sabemos, el volumen es una medida del espacio ocupado por el cuerpo. Corresponde, por lo tanto, al tamaño del cuerpo.

Un kilogramo de cobre tiene la misma masa que un kilogramo de aluminio, pero ambos ocupan diferentes volúmenes. Al derretirse, el hielo cambia de volumen –se contrae–, pero mantiene, por supuesto, su masa.

El carácter vectorial de la velocidad

Antes de proseguir nuestro estudio de las leyes de Newton, conviene destacar un hecho importante relativo al concepto de velocidad: la velocidad tiene carácter vectorial.

Es claro que cada movimiento se realiza en alguna dirección.

Moverse con una velocidad de 80 km/h hacia el norte es muy diferente a moverse con una velocidad de 80 km/h hacia el oeste.

Es decir, la velocidad, al igual que la fuerza, es una magnitud vectorial.

Escaneado con CamScanner

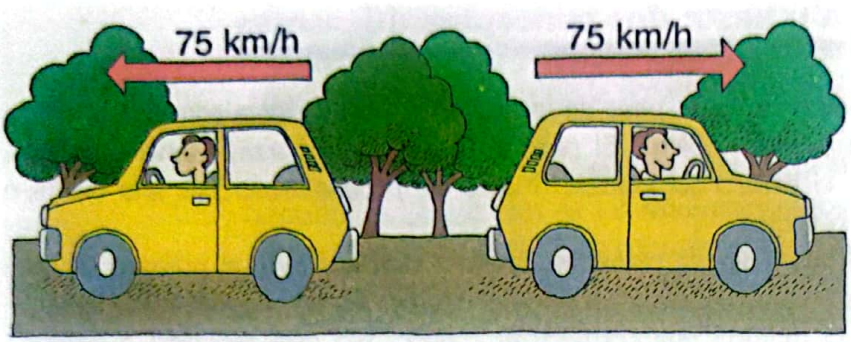


Fig. 2.57

La dirección del vector velocidad indica en qué dirección se mueve el cuerpo.

La magnitud del vector velocidad indica cuán rápido se está moviendo.

La primera conclusión que se desprende del carácter vectorial de la velocidad es la siguiente: si un objeto se está moviendo con una velocidad de 12 m/s hacia la izquierda y otro objeto se está moviendo con una velocidad de 12 m/s hacia arriba, entonces ambos objetos no tienen la misma velocidad.

En efecto, para que dos vectores sean iguales deben tener igual magnitud e igual dirección.

En este caso, los vectores que representan la velocidad de ambos cuerpos tienen la misma magnitud, pero diferente dirección. Por lo tanto, son diferentes.

Por igual razón, un automóvil que toma una curva a razón de 45 km/h no se está moviendo con velocidad constante, ya que si bien no varía la rapidez con que avanza, su dirección sí está cambiando.

Por ello, el vector velocidad que representa su movimiento no se mantiene igual a sí mismo, sino que cambia.

Desde este punto de vista, los dos únicos casos en que el vector velocidad es realmente constante son:

a) cuando el cuerpo está en reposo, en que el vector velocidad se mantiene en cero, y

b) cuando el cuerpo se mueve en línea recta sin aumentar ni disminuir su velocidad.

Fuerza neta y variación de velocidad

Es interesante hacer notar que los dos casos de movimientos en los que el vector velocidad se mantiene constante corresponden justamente a los movimientos que presenta un cuerpo cuando la fuerza neta que actúa sobre él es cero.

El Principio de Inercia se refiere al caso en que la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es cero. Y afirma que, si el cuerpo estaba inicialmente en reposo, seguirá en reposo. Si, en cambio, estaba ya en movimiento, seguirá moviéndose en línea recta y con velocidad constante.

La introducción del vector velocidad nos permite formular un enunciado del Principio de Inercia más compacto que el que dimos en aquella ocasión:

Principio de Inercia

Si la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es cero, entonces la velocidad del cuerpo es constante en magnitud y en dirección.

Escaneado con CamScanner

Es decir, si la fuerza neta que actúa sobre un objeto es cero, la velocidad no puede aumentar, no puede disminuir ni puede cambiar de dirección.

Si la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es cero, entonces su velocidad será necesariamente constante.

Y, recíprocamente, si la velocidad de un cuerpo es constante, entonces la fuerza neta que actúa sobre él debe ser necesariamente cero.

De aquí se desprende otra conclusión importante:

> En todos los casos en que la fuerza neta es diferente de cero, se produce necesariamente una variación en la velocidad del cuerpo.

Esta variación puede ser un aumento o disminución de la velocidad y/o un cambio de dirección del movimiento.

Actividades

1. Enrique está realizando una práctica de vuelo en un avión deportivo. Desde el aparato informa a la torre de control: "En este momento estoy volando sobre Querétaro. Me mantengo a una altura de 2800 m y volaré durante la próxima media hora sin cambiar de rumbo con una velocidad constante de 120 km/h ."

a) ¿Es suficiente la información dada para determinar dónde se encontrará Enrique 15 minutos más tarde? Si consideras que la información es insuficiente, indica qué datos adicionales serían necesarios.

b) ¿Es suficiente la información dada para determinar la variación de velocidad que experimentará el avión en los 15 minutos que siguen a su comunicación con la torre de control? Si consideras que la información es insuficiente, indica qué datos adicionales serían necesarios.

c) ¿Es suficiente la información dada para determinar la fuerza neta que actúa sobre el avión? Si consideras que la información es insuficiente, indica qué datos adicionales serían necesarios.

2. La señora María conduce su camioneta recién adquirida. A pesar de que le agrada conducir a gran velocidad, esta vez decide hacer una prueba de regularidad. Para lo cual conduce de manera que el velocímetro marque permanentemente 60 km/h , sin aumentar ni disminuir. ¿En cuáles de los siguientes intervalos la velocidad de la camioneta fue constante?

a) Entre las 8: 37 y las 8: 46 horas viajó por un tramo recto de la carretera.

b) Entre las 8: 46 y las 8: 48 horas viajó por una zona de curvas.

c) Entre las 8: 48 y las 8: 51 horas viajó por un tramo en que el camino es recto, pero tiene una cierta pendiente.

d) A las 8: 51 horas dio por terminada la prueba y hasta las 9:36 horas estuvo detenida al borde del camino admirando la belleza del paisaje y la pureza del aire de la zona.

Escaneado con CamScanner

En busca de una relación entre la fuerza neta y la variación de velocidad

Los ejemplos analizados muestran que hay variación de velocidad en cada uno de los siguientes casos:

a) Si la velocidad de un cuerpo está aumentando.
b) Si la velocidad del cuerpo está disminuyendo.
c) Si el cuerpo se está moviendo a lo largo de una trayectoria curva.

En todos estos casos, es necesario que la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo sea diferente de cero.

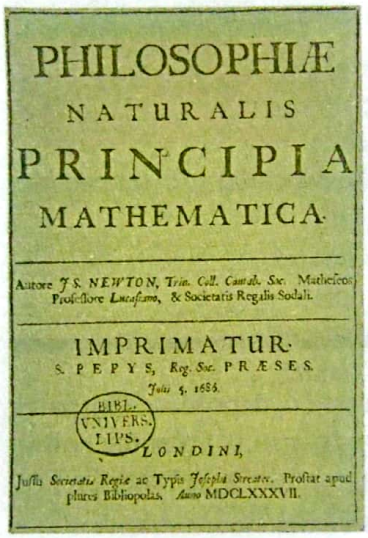

PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA
Autore J.S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Mathesios Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.
IMPRIMATUR
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5, 1686.
BIBL. UNIVERS. LIPS.
LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Fig. 2.58 *Portada de los "Principia Mathematica" de Newton.*

Puesto que si la fuerza neta fuera igual a cero, de acuerdo con la primera Ley de Newton, no podría haber variación de velocidad, y el cuerpo mantendría tanto la magnitud como la dirección de su velocidad.

Corresponde ahora que establezcamos una relación cuantitativa entre la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo y la variación que experimenta su velocidad por efectos de la acción de dicha fuerza.

Esta relación se resume en una ley del movimiento que fue formulada por Newton y que se constituyó en la ecuación fundamental de toda la mecánica clásica. Se le conoce como la Segunda Ley de Newton.

Por razones de simplicidad, la formulación que daremos aquí para la Segunda Ley será ligeramente diferente a la que dio el propio Newton.

Nos limitaremos, asimismo, a los casos en que el cuerpo en estudio se mueve a lo largo de una línea recta.

Es decir, dejaremos de lado, por el momento, los casos en los cuales se produce un cambio en la dirección del movimiento.

Para dar un adecuado tratamiento a los movimientos que no son rectilíneos, se requiere conocer un poco más acerca de las matemáticas de los vectores. Por tal motivo, dejaremos este tema para más adelante.

La Segunda Ley de Newton

Con base en nuestra propia experiencia diaria, podemos establecer algunas relaciones cualitativas entre la magnitud de la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo y las variaciones que experimenta su velocidad.

Consideremos los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1

Pensemos en un carrito que se está moviendo hacia la derecha sobre una mesa horizontal.

Supongamos que la única fuerza horizontal que actúa sobre el carrito es el roce. Sabemos, además, que el peso de carrito y la fuerza que ejerce la mesa hacia arriba se anulan mutuamente, de modo que la fuerza neta es igual a la fuerza de roce.

Ahora bien, si el roce es pequeño, la velocidad irá disminuyendo lentamente. Es decir, la variación que experimenta la velocidad en un intervalo de tiempo dado será re-

Escaneado con CamScanner

lativamente pequeña.

Por el contrario, si el roce es muy grande, en el mismo intervalo de tiempo, el carrito experimentará una gran variación de velocidad.

Ejemplo 2

Consideremos el mismo caso anterior, pero ahora supondremos que sobre el carrito sólo actúa una fuerza hacia adelante.

Esta vez, la velocidad del carrito irá aumentando, pues la fuerza actúa en la misma dirección del movimiento.

Si la fuerza es pequeña, el aumento de velocidad será pequeño. Si la fuerza es grande, el aumento de velocidad será grande.

De modo que, de acuerdo con los ejemplos 1 y 2, podemos formular lo siguiente:

> La variación de velocidad que experimenta un cuerpo será tanto mayor mientras mayor sea la fuerza neta que actúa sobre él.

Ejemplo 3

En los ejemplos anteriores, hemos puesto nuestra atención en la relación entre la variación de velocidad del carrito y la magnitud de la fuerza neta que actúa sobre él.

Consideremos, ahora, la relación que debe existir entre la variación de velocidad del carrito y el tiempo durante el cual actúa la fuerza.

La velocidad del carrito tiene que seguir variando mientras esté actuando la fuerza. Por lo tanto, la variación total que experimente la velocidad tendrá que ser tanto mayor cuanto mayor sea el intervalo de tiempo considerado.

Podemos formular lo siguiente:

> La variación de velocidad que experimenta un cuerpo será tanto mayor mientras mayor sea el intervalo de tiempo durante el cual actúa la fuerza.

Ejemplo 4

Por último, imaginemos cómo debe influir la masa del carrito.

Carguemos el carrito con una bolsa de arena o con un trozo de madera. De esta manera habremos aumentado su masa.

Esta vez, la misma fuerza tendrá un efecto menor.

Recíprocamente, si la masa del carrito es menor, la variación de velocidad que produzca la fuerza será mayor.

Es decir:

> La variación de velocidad que experimenta un cuerpo será tanto mayor mientras menor sea la masa del cuerpo.

Escaneado con CamScanner

Las relaciones que acabamos de dar son sólo relaciones cualitativas.

Para llegar a relaciones cuantitativas, sería necesario realizar series de experimentos debidamente planificados.

Si lo hiciéramos, encontraríamos una sorpresa agradable. Entre la variación de velocidad y la fuerza neta existe una relación bastante simple.

Tal relación constituye el contenido de la Segunda Ley de Newton.

He aquí una primera formulación de esta ley:

SEGUNDA LEY DE NEWTON

$$FN \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

En esta ecuación:

FN representa la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo,
Δt es la duración del intervalo que estamos considerando,
m es la masa del cuerpo, y
Δv es la variación de velocidad que experimenta el cuerpo en ese intervalo.

Unidades en el Sistema Internacional

FN se mide en N,
Δt se mide en s,
m se mide en kg, y
Δv se mide en m/s.

Como se puede ver, la Segunda Ley de Newton expresa la relación que existe entre la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo y la variación de velocidad que el cuerpo experimenta por efectos de ella.

Observa que la Segunda Ley de Newton no se refiere a la velocidad con que se mueve el cuerpo, sino a la variación que experimenta la velocidad.

La Primera Ley de Newton, es decir, el Principio de Inercia, se refiere al caso en que la fuerza neta es cero. Afirma que en dicha situación, la velocidad del cuerpo se mantiene constante.

De allí se desprende que toda variación de la velocidad de un cuerpo está asociada necesariamente a una fuerza neta diferente de cero.

La Segunda Ley considera este nuevo caso y proporciona la relación cuantitativa que existe entre la fuerza neta y la variación de velocidad.

Mediante la Segunda Ley puedo inferir lo que sucederá con la velocidad de un cuerpo a partir de la información que se tenga relativa a la fuerza neta que actúa sobre él.

Asimismo, puedo inferir información acerca de las fuerzas que están actuando sobre un cuerpo a partir de los datos que se tengan relativos a la velocidad del cuerpo.

Escaneado con CamScanner

La aplicación más frecuente de la Segunda Ley tiene que ver con la relación entre fuerza neta y variación de velocidad.

Pero en ella intervienen, además, otras dos variables: el tiempo y la masa. Por este motivo, también podemos utilizar esta Ley para obtener información desconocida acerca del tiempo durante el cual actúa una fuerza o acerca de la masa del cuerpo.

Una nueva versión para la Segunda Ley de Newton

El concepto de aceleración permite enunciar la Segunda Ley de Newton en una forma aún más sencilla.

De acuerdo con la formulación dada, se tiene:

$$FN \bullet \Delta t = m \bullet \Delta v$$

Dividamos por Δt ambos miembros de esta ecuación:

$$FN \cdot \Delta t = m \bullet \Delta v \qquad /: \Delta t$$

$$FN = \frac{m \bullet \Delta v}{\Delta t}$$

$$FN = m \bullet \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

En esta última ecuación, Δv es la variación de velocidad que experimenta el cuerpo durante el intervalo de duración Δt .

El cociente

$$\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

corresponde precisamente a la aceleración a del cuerpo en ese intervalo.

De acuerdo con esto, podemos escribir la Segunda Ley de Newton en la siguiente forma: (ver cuadro página siguiente).

Llama la atención que una ley tan fundamental como es la Segunda Ley de Newton tenga una expresión matemática tan sencilla.

Esta ley pone en relación las fuerzas que están actuando sobre un objeto con el movimiento del objeto.

De las diferentes fuerzas que actúan sobre el objeto sólo interesa su suma vectorial, es decir, la fuerza neta.

Del objeto mismo, sólo interesa una propiedad: su masa.

Escaneado con CamScanner

SEGUNDA LEY DE NEWTON

$$FN = m \cdot a$$

En esta ecuación:

FN representa la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo,
m es la masa del cuerpo, y
a es la aceleración del cuerpo en ese intervalo.

Unidades en el Sistema Internacional

FN se mide en N,
m se mide en kg, y
a se mide en m/s2.

Del movimiento que manifiesta el objeto bajo los efectos de estas fuerzas sólo interesa una magnitud: la aceleración.

Si deseamos saber qué características tendrá el movimiento de un objeto bajo la acción de determinadas fuerzas, todo lo que tenemos que hacer es averiguar cuánto vale la fuerza neta.

La Segunda Ley permitirá ahora calcular la aceleración que tendrá el objeto.

Si deseamos saber qué fuerzas están actuando sobre un objeto, tenemos que determinar en primer lugar cuánto es su aceleración.

La Segunda Ley permitirá calcular cuánto es la fuerza neta que está actuando sobre el objeto.

Actividades

1. Un camión, cuya masa es de 18.000 kg, avanza por la carretera con una velocidad de 20 m/s. Al acercarse a una esquina, debe detenerse para obedecer al semáforo que muestra luz roja. Demora 16 s en detenerse completamente.

a) Conoces la velocidad inicial y la velocidad final del camión. Con esos datos calcula la variación que experimentó la velocidad.

b) Conoces, también, la masa del camión y el tiempo que demoró en detenerse. Aplica la segunda Ley de Newton para calcular la fuerza neta que debió actuar sobre el camión para detenerlo.

c) ¿En qué dirección debió actuar esta fuetrza neta?

2. Un paracaidista de 820 N de peso desciende con velocidad constante de 9 m/s.

a) Dibuja todas las fuerzas que están actuando sobre el paracaidista mientras desciende.

Escaneado con CamScanner

b) Si se mueve con velocidad constante, ¿qué puedes decir de su aceleración?

c) De acuerdo con las leyes de Newton, ¿cuánto debe valer la fuerza neta que actúa sobre él?

d) Sabemos que una de las fuerzas que actúa sobre el paracaidista es su peso, y vale 820 N. Por lo tanto, ¿cuánto debe valer la fuerza que el paracaidas ejerce sobre el paracaidista, para que la fuerza neta tenga el valor calculado en c)?

3. El movimiento de los pájaros pequeños se caracteriza, en general, por ser muy vivaz, con bruscos cambios de velocidad y dirección. El movimiento de un elefante, por el contrario, resulta mucho más tranquilo, sin brusquedades ni cambios repentinos. ¿Crees tú que las leyes de Newton tienen algo que ver con este hecho?

4. Betty opina que es muy difícil lograr que un cuerpo de gran masa se mueva con gran velocidad.

Roberto, en cambio, afirma que la velocidad no es lo importante. Lo difícil es cambiar la velocidad de un cuerpo de gran masa.

Arturo, a su vez, considera que si un cuerpo tiene mucha masa, entonces se detendrá rápidamente cuando deje de actuar la fuerza que lo está moviendo.

Analiza estas afirmaciones. ¿Es cada una de ellas verdadera o falsa? Si es falsa, ¿dónde radica el error?

LA TERCERA LEY DE NEWTON

A pesar de la aparente variedad de las fuerzas que podemos observar a nuestro alrededor, casi todas ellas corresponden a fuerzas de tipo gravitatorio o a fuerzas de tipo electrostático.

Así, por ejemplo, las fuerzas entre las diferentes partículas a nivel atómico y a nivel molecular son de carácter electrostático y surgen como resultado de atracciones y repulsiones entre protones y electrones.

Algo similar sucede con las fuerzas por contacto entre dos objetos. Un florero, por ejemplo, al ser colocado sobre una mesa provoca una leve deformación de la estructura que forman los átomos en la tabla de la mesa. Esta deformación rompe el equilibrio en que se encuentran las fuerzas entre protones y electrones y hace que la mesa ejerza una fuerza sobre el florero.

Por otra parte, el peso, esa fuerza siempre presente en nuestra vida diaria, es una fuerza gravitatoria. Corresponde a la atracción gravitatoria que la Tierra ejerce sobre cada cuerpo.

Ahora bien, si estas fuerzas son de origen gravitatorio o electrostático, entonces todas ellas deben manifestar las propiedades que caracterizan a dichas fuerzas.

En especial, nos interesa la siguiente propiedad:

Tanto las fuerzas gravitatorias como las fuerzas electrostáticas son interacciones. Es decir, los cuerpos que participan se atraen o repelen mutuamente.

Consideremos, a modo de ejemplo, la atracción gravitatoria entre la Tierra y la Luna.

No se trata aquí solamente de que la Tierra atrae a la Luna.

Escaneado con CamScanner

Fig. 2.59

Se trata de que ambas se atraen mutuamente.

La Tierra atrae a la Luna y la Luna atrae a la Tierra.

Algo similar puede decirse de las fuerzas electrostáticas.

También en este caso sucede que los dos cuerpos que interactúan electrostáticamente se ejercen fuerzas mutuamente. Estas fuerzas son de igual magnitud y de dirección contraria.

Esta propiedad es muy general y constituye el contenido de la Tercera Ley de Newton.

TERCERA LEY DE NEWTON

Siempre que un cuerpo A ejerce una fuerza sobre un cuerpo B, el cuerpo B ejercerá, simultáneamente, una fuerza sobre el cuerpo A.
Ambas fuerzas son de igual magnitud y de dirección contaria.

La Tercera Ley de Newton en acción

Esta ley resulta, a veces, un tanto sorprendente.

Parece contradecir nuestra experiencia diaria. Sin embargo, desde muy niños hemos aprendido a hacer uso de ella, aunque no tengamos plena conciencia de ello.

Sin ir más lejos, es justamente la Tercera Ley de Newton la que nos permite caminar, correr o saltar. Si estamos en movimiento, gracias a ella podemos detenernos o cambiar de dirección.

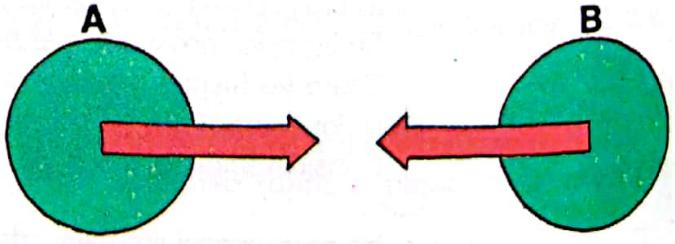
Es conveniente que analicemos con cierto detalle algunos casos frecuentes en que se aplica la Tercera Ley.

Sabemos que cualquier movimiento que implique un cambio de velocidad requiere de una fuerza.

Sabemos también que un cuerpo no puede ejercer fuerza sobre sí mismo.

Por lo tanto, cada vez que tú necesitas modificar la velocidad con que te estás moviendo, debes conseguir que alguna persona u objeto ejerza la fuerza necesaria sobre ti. Tú no puedes ejercer ninguna fuerza sobre ti mismo.

Fig. 2.60



Consideremos el caso de un atleta que ha llegado frente a la vara en la prueba de salto alto. Para elevarse, necesita que sobre él actúe una fuerza hacia arriba.

¿Cómo conseguir que alguien

Escaneado con CamScanner

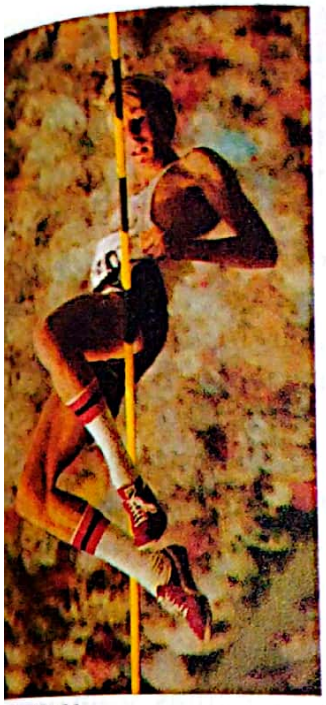


Fig. 2.61

ejerza esa fuerza?

Muy simple. Basta que él, en ese momento, ejerza una fuerza sobre el suelo hacia abajo.

De acuerdo con la Tercera Ley de Newton, el suelo ejercerá sobre él una fuerza hacia arriba. Y es esta fuerza la que da al atleta el impulso necesario.

Desde este punto de vista, decir que el atleta se da impulso es un tanto ambiguo.

Lo que en realidad sucede es que el atleta da un fuerte impulso al suelo hacia abajo. Y es el suelo quien impulsa al atleta hacia arriba. Es la Tercera Ley de Newton en acción.

Si no estás muy convencido, te recomendamos que saltes. Y pon atención a lo que realmente haces al darte impulso.

Consideremos otro ejemplo.

Un carro se encuentra detenido. El conductor aprieta el acelerador y suelta el pedal del embrague. El vehículo se pone en marcha.

Bien sabemos que para poner en movimiento un cuerpo que está detenido se necesita una fuerza hacia adelante. ¿Quién ejerció sobre el carro la fuerza que lo puso en movimiento?

Contrariamente a lo que generalmente se piensa, no es el motor quien ejerce la fuerza hacia adelante que pone en marcha al carro. No puede serlo, por la sencilla razón de que el motor forma parte del vehículo y un cuerpo no puede ejercer fuerzas sobre sí mismo.

Fig. 2.62

Una vez más es el suelo quien se encarga de ejercer la fuerza necesaria.

El papel del motor es actuar sobre las ruedas para que éstas ejerzan sobre el suelo una fuerza hacia atrás. El suelo, siguiendo obedientemente la Tercera Ley de Newton, ejerce sobre las ruedas y, por lo tanto, sobre el carro, una fuerza hacia adelante. Esta fuerza es la que pone en movimiento al carro.

Una capa de aceite puede reducir casi a cero la fuerza de interacción entre las ruedas y el suelo. En estas condiciones, ni el motor más poderoso puede acelerar al carro.

Las fuerzas son interacciones entre cuerpos

Al introducir el concepto de fuerza habíamos dicho que las fuerzas son un tipo de

Escaneado con CamScanner

acción de un cuerpo sobre otro.

Ahora podemos completar tal afirmación:

Es más correcto decir que las fuerzas son un tipo de interacción entre dos cuerpos.

Decir que un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro es sólo la mitad de la película. También este segundo cuerpo ejerce una fuerza sobre el primero. Ambos cuerpos se ejercen fuerzas mutuamente.

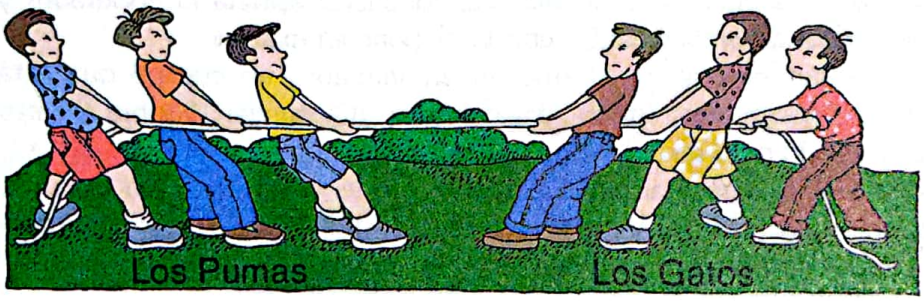
De acuerdo con esto, en toda interacción hay siempre dos fuerzas.

Una fuerza es ejercida por uno de los cuerpos; la otra es ejercida por el segundo cuerpo. Una fuerza actúa sobre uno de los cuerpos; la otra actúa sobre el otro cuerpo.

Por razones de simplicidad, en muchas situaciones hacemos caso omiso de una de estas fuerzas.

Lo hacemos porque sólo nos interesa lo que sucede a uno de los cuerpos. Y, por lo tanto, sólo nos fijamos en la fuerza que está actuando sobre él.

Fig. 2.63



Analicemos la situación que muestra la figura.

Los Pumas y los Gatos compiten jalando de la cuerda. La competencia finaliza con el triunfo aplastante de los Gatos.

¿Significa esto que la fuerza que los Gatos ejercieron sobre los Pumas es mayor que la fuerza que los Pumas ejercieron sobre los Gatos?

No. Ello contradiría a la Tercera Ley de Newton.

La causa del triunfo de los Gatos hay que buscarla en otro lado.

La figura muestra esquemáticamente la situación.

Fig. 2.64

En este esquema, P representa al equipo de los Pumas y G al equipo de los Gatos.

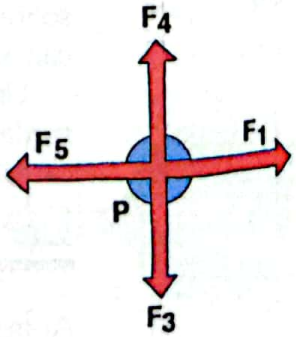
El vector F1 representa la fuerza que los Gatos ejercen sobre los Pumas. A su vez, el vector F2 representa la fuerza que los Pumas ejercen sobre los Gatos.

La figura muestra claramente que estas dos fuerzas no compiten entre sí, ya que actúan sobre diferentes cuerpos: F1 actúa sobre los Pumas, en tanto que F2 actúa sobre los Gatos.

Fig. 2.65

Para entender por qué finalmente los Pumas fueron arrastrados, tenemos que determinar cuáles son todas las fuerzas que actúan sobre ellos.

La figura muestra las fuerzas que actúan sobre los Pumas.



En este esquema:

F1 es la fuerza que ejercen los Gatos.

F3 es el peso de los Pumas y actúa hacia abajo.

F4 es la fuerza que el suelo ejerce sobre los Pumas

Escaneado con CamScanner

Fig. 2.66
Las fuerzas son iguales, pero los efectos muy diferentes.

hacia arriba.

Las fuerzas F3 y F4 se contrarrestan entre sí y no tienen influencia sobre el resultado.

Queda aún la fuerza F5.

Esta es una fuerza dirigida hacia la izquierda. Es ella la que se opone a F1. De ella depende el resultado de la competencia.

¿De dónde sale esta fuerza?

Los Pumas, para evitar ser arrastrados por los Gatos ejercen fuerza sobre el suelo hacia la derecha. Acorde con la Tercera Ley de Newton, el suelo ejercerá una fuerza sobre los Pumas hacia la izquierda. Tal es precisamente al fuerza F5.

Los Pumas pierden porque la fuerza F1 es mayor que la fuerza F5.

Es decir, el resultado de la competencia no depende de cuál de los dos equipos es capaz de jalar de la cuerda con mayor fuerza, sino de cuál de los dos equipos es capaz es de ejercer una mayor fuerza sobre el suelo.

Analicemos otro ejemplo.

Un camión de 20 000 kg choca de frente contra un automóvil cuya masa es de 1000 kg.

De acuerdo con la Terecera Ley de Newton, ambos vehículos ejercen fuerzas el uno sobre el otro durante el choque. Y la fuerza que el camión ejerce sobre el carro es exactamente igual en magnitud a la fuerza que el carro ejerce sobre el camión.

Sin embargo, a pesar de que ambas fuerzas son iguales, los efectos que ellas producen son muy diferentes.

Para explicar esta diferencia, hay que tomar en cuenta dos factores.

Por una parte, el material de que está construido el camión es mucho más resistente que el material de que está construido el carro. La misma fuerza produce, por lo tanto, un daño mucho mayor en el carro que en el camión.

Por otra parte, la masa del camión es mucho mayor que la masa del carro. La misma fuerza produce, por lo tanto, una aceleración mucho mayor en el carro que en el camión.

La aceleración que experimenta el carro puede ser de varios cientos de m/s^2. Si la masa del camión es 20 veces mayor que la del carro, su aceleración será 20 veces menor, es decir, es del orden de las decenas de m/s^2.

Esto significa que el peligro para las personas que viajan en el carro es mucho mayor que el peligro para los que viajan en el camión.

Actividades

1. Un atleta se encuentra en posición de partida para la prueba de 100 m planos. Explica en qué forma el atleta utiliza la Tercera Ley de Newton para lograr la aceleración que necesita al inciar su carrera.

2. Un autobús intercomunal viaja con una velocidad de 25 m/s. De pronto surge un obstáculo en la carretera. El conductor aprieta el freno, logrando que el autobús se detenga sin mayores consecuencias.

Escaneado con CamScanner

¿Quién o quiénes ejercen sobre el bus la fuerza que lo detiene?

3. ¿Dónde está el error en el siguiente razonamiento?

Un tractor, unido a un arado, se encuentra en reposo. El tractorista hace andar el motor del tractor. El tractor jala del arado con una fuerza F1 hacia adelante. De acuerdo a la Tercera Ley de Newton, el arado tira del tractor hacia atrás con una fuerza F2. Como ambas fuerzas tienen igual magnitud, pero direcciones contrarias, se anulan entre sí. Por lo tanto, ni el tractor ni el arado pueden ponerse en movimiento.

EL SISTEMA SOLAR

Hoy día, ninguna persona medianamente informada tiene dudas acerca de la forma de la Tierra.

Las fotografías de nuestro planeta obtenidas desde naves espaciales han sido reproducidas en periódicos, revistas y libros, y se muestran en programas de divulgación científica en la televisión.

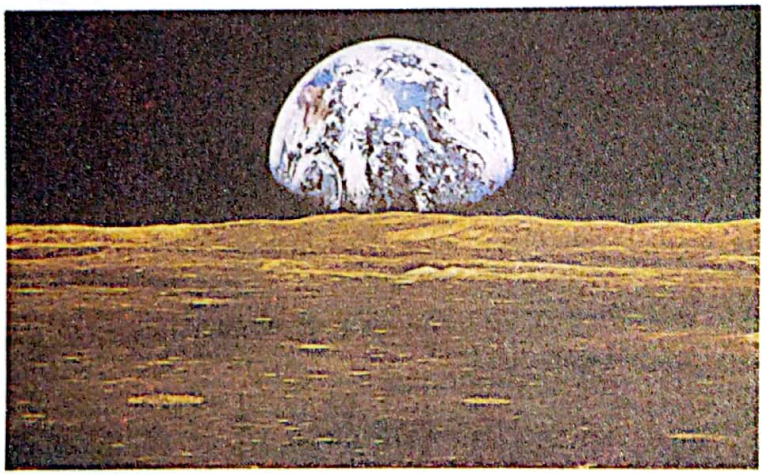


***Fig. 2.67** La tierra desde lejos.*

La Tierra es redonda y se asemeja a una esfera de grandes proporciones. Los niños pequeños lo aprenden muy temprano y, para convencerlos, basta mostrarles una de estas fotogafías: "Así se ve la Tierra desde lejos".

Hoy día, todos saben asimismo que la Tierra es un planeta que gira alrededor del Sol, al igual que Venus, Marte, Júpiter, Saturno y los demás planetas de nuestros sistema.

Esta vez, sin embargo, no poseemos evidencia tan clara como en el caso de la forma de la Tierra.

Todavía está muy lejos el día en que el hombre podrá salir del sistema solar para contemplarlo desde fuera.

¿En qué nos basamos para estar tan seguros acerca de la constitución del sistema solar? ¿Cómo se llegó al convencimiento de que la Tierra es redonda, muchos siglos antes de que por primera vez fuera enviado al espacio un satélite artificial?

El camino zigzagueante del conocimiento científico

En verdad, lo que sabemos acerca del sistema solar es muchísimo más que simplemente la suma de todas las observaciones realizadas a lo largo de los siglos.

El poder de la ciencia reside, precisamente, en la capacidad para ir más allá de lo que vemos directamente con nuestros ojos.

La ciencia ha ido refinando y perfeccionando cada vez más esta capacidad para procesar la información disponible de modo de poder formular inferencias, extraer con-

Escaneado con CamScanner

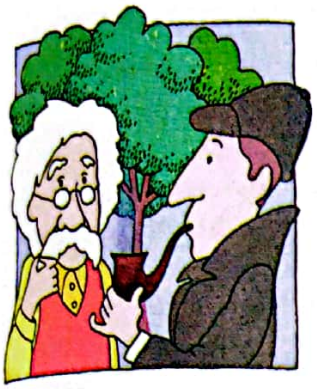


Fig. 2.68

clusiones, plantear hipótesis, construir teorías.

En cierto sentido, la labor del hombre de ciencia se parece a la del detective de una novela policial. Este debe ir reuniendo datos que le permitan reconstruir el asesinato. Sin haber sido testigo ocular, el detective llega a estar en condiciones de decir cómo y cuándo ocurrieron los hechos.

Así, hoy existe un gran número de físicos que tiene mucho que decir acerca de cómo ocurrió la Gran Explosión que marca el inicio de la etapa actual de nuestro Universo, un acontecimiento que tuvo lugar hace más de veinte mil millones de años. O acerca de la estructura interna de los átomos o de la composición química de estrellas situadas en los confines del Universo.

Para lograr la imagen que hoy tenemos del sistema solar, fue necesario acumular gran cantidad de información a través de la paciente observación, noche tras noche, de los movimientos que presentan los cuerpos celestes.

Pero, por sobre todo, fue necesario buscar hipótesis y teorías que permitieran explicar los resultados de estas observaciones.

La búsqueda de explicaciones requiere creatividad e imaginación. Requiere, asimismo, a veces, ser capaz de superar concepciones que se han ido consolidando a lo largo de los tiempos y que, en verdad, no corresponden plenamente a los hechos.

"Generalmente, se considera el progreso de la ciencia como una especie de marcha clara y racional que sigue una línea recta ascendente.

En verdad, ha seguido un curso zigzagueante, a veces casi más sorprendente que el de la evolución del pensamiento político.

La historia de las teorías cósmicas, en particular, puede llamarse, sin exageración, un historia de obsesiones colectivas y esquizofrenias reprimidas; y la manera cómo se produjeron algunos de los decubrimientos individuales más importantes nos hace pensar más en el obrar de un sonámbulo que en el de un cerebro electrónico."

Arthur Koestler

Las primeras ideas acerca del Universo

No fue fácil que el grueso de la Humanidad se convenciera de que la Tierra es efectivamente redonda. Es decir, de que la Tierra tiene una forma que la asemeja a una esfera.

Y no resulta extraño que esta idea sólo se haya impuesto tras largos siglos de controversia.

De hecho, la Tierra es tan grande que, desde su superficie, no es posible apreciar su forma.

Para formular una afirmación acerca de la forma de la Tierra, por lo tanto, fue nece-

Escaneado con CamScanner

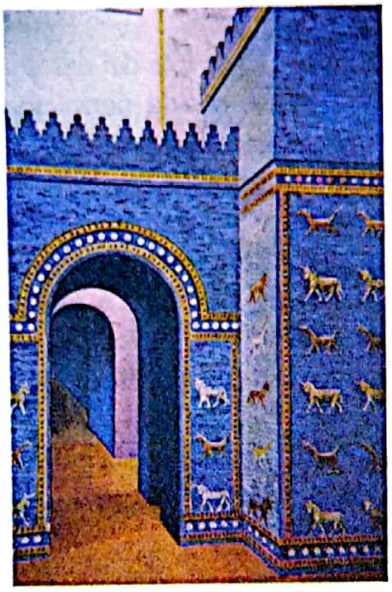


Fig. 2.69

Fig. 2.70

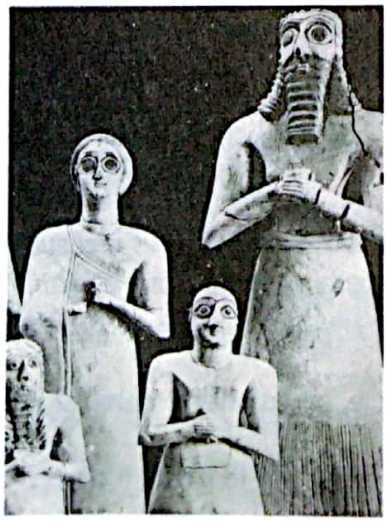


Fig. 2.71

sario ir más allá de lo que se presenta directamente a nuestros ojos.

En esta tarea, durante mucho tiempo las explicaciones se parecían más a una fábula que a un intento de buscar la verdad.

El mundo de los babilonios era como una ostra, con agua por debajo y más agua por encima. La Tierra era un monte colocado en su centro y bañado por las aguas inferiores. Por encima, se extendía una sólida bóveda cubierta por las aguas superiores. Estas últimas se filtraban de vez en cuando a través de la bóveda en forma de lluvias. El Sol, la Luna y las estrellas se movían lentamente a través de la bóveda; entraban por puertas situadas en el este y desaparecían por puertas situadas en el oeste.

El universo de los egipcios era una especie de caja. La Tierra era el piso. El cielo era una vaca cuyas cuatro patas descansaban en los cuatro ángulos de la Tierra. Más adelante, fue una tapa metálica abovedada. Alrededor de las paredes interiores de la caja, corría un río por el que navegaban las barcas de la divinidad Sol y de la divinidad Luna. Las estrellas fijas eran lámparas suspendidas de la bóveda o sostenidas por otros dioses. Una vez al mes, la divinidad Luna se veía atacada por una feroz marrana que la devoraba en una larga agonía que duraba quince días. Luego renacía.

Paralelamente a los intentos de explicación, fue surgiendo la observación sistemática.

En tablitas de arcilla, que datan de alrededor del año 3800 a. C, han quedado impresas las observaciones realizadas por los sacerdotes caldeos de aquel tiempo acerca del movimiento del Sol y las estrellas.

Sus datos resultan ser sorprendentemente precisos: computaban la duración del año con un error de menos de 1 parte en 100.000. Y el margen de error en sus cifras relativas a los movimientos del Sol y de la Luna es apenas tres veces mayor que el de los astrónomos del siglo XIX, equipados con gigantescos telescopios.

El surgimiento del sistema heliocéntrico

Algunos siglos más adelante, en la antigua Grecia, la Tierra dejó de tener un apoyo.

En el universo de Anaximandro, la Tierra es un disco que se halla en el centro, sin sostén ninguno, rodeado de agua.

Para Pitágoras, la Tierra es una esfera. Alrededor de ella, el Sol, la Luna y los planetas giran en círculos concéntricos, fijo cada uno a una esfera o rueda. La veloz revolución de cada uno de estos cuerpos produce un silbido o susrro musical en el aire. Cada cuerpo celeste emite un sonido diferente, de modo que todos ellos constituyen una especie de orquesta de celestial armonía.

Desde la época de Pitágoras, fue afianzándose poco a poco la idea de

Escaneado con CamScanner

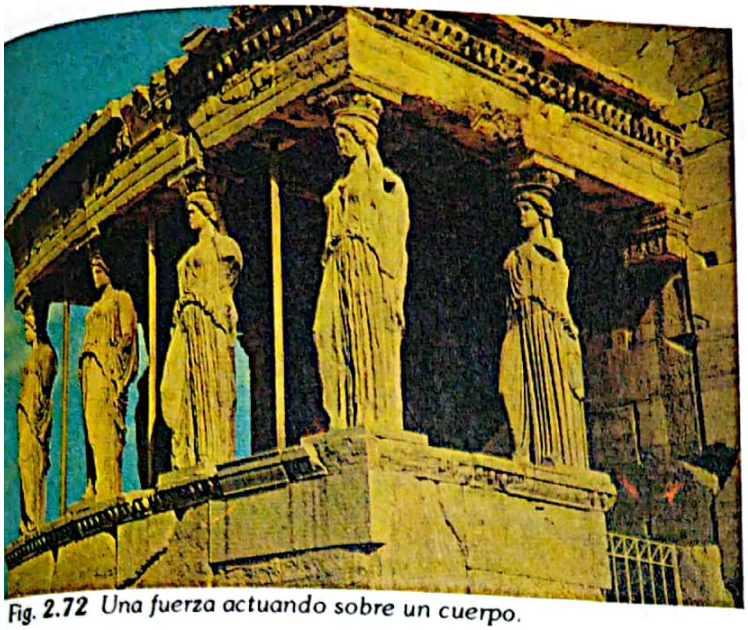


Fig. 2.72 *Una fuerza actuando sobre un cuerpo.*

espacio.

Un discípulo de Pitágoras, Filolao, fue el primer filósofo que atribuyó movimiento a la Tierra.

Según Filolao, la Tierra describe diariamente un círculo en torno a un punto situado fuera del planeta, en el espacio. De esta manera, él explicaba el movimiento diario de los diferentes cuerpos celestes.

Un siglo más tarde, Heráclito postula que la Tierra gira en torno a su propio eje.

Esto explica el movimiento de las estrellas, pero plantea el problema del movimiento de los planetas.

Las estrellas presentan una gran estabilidad. Aunque se mueven, día a día, de oriente a poniente, mantienen inalterable sus posiciones relativas. Es como si estuvieran fijas en una gran esfera invisible o como agujeros hechos con un alfiler en una gran bóveda opaca.

Por su parte, el Sol y la Luna se mueven más o menos regularmente sobre el fondo formado por las estrellas fijas.

Los planetas, en cambio, presentan un movimiento muy irregular, desplazándose por el campo de las estrellas con velocidad variables. Estos planetas avanzan durante un cierto tiempo en una dirección. Pero a veces se detienen, retroceden un tanto, para volver a avanzar en la dirección inicial.

Venus tiene un comportamiento aún más curioso. Cuando está visible, es un astro brillante y hermoso que no puede dejar de llamar la atención. Pero nunca se aparta demasiado del Sol. A veces se le ve de madrugada, hacia el oriente, poco antes de que salga el Sol. Otras veces, se le ve en el atardecer, en el poniente, poco después de la puesta del Sol.

Sus pronunciados cambios de brillo sugieren, además que a veces se acerca y a veces se aleja de nosotros.

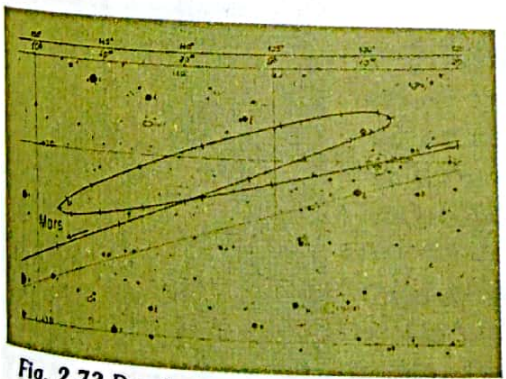


Fig. 2.73 *Desplazamiento de Marte sobre el fondo de las estrellas fijas.*

El planeta Mercurio manifiesta un comportamiento similar al de Venus. Pero es mucho menos luminoso que Venus y, además, se mantiene siempre muy cerca del Sol. Por tal motivo, resulta muy difícil de observar para quien no está familiarizado.

Para explicar este extraño comportamiento de Mercurio y de Venus, Heráclito propuso una ingeniosa solución.

En su propuesta, la Tierra está situada en el centro del Universo. A su alrededor giran la Luna, el Sol, las estrellas, y los demás planetas, con la sola excepción de Venus y Mercurio, que giran en torno al Sol.

El paso siguiente lo dio Aristarco de Samos.

Aristarco propuso que el Sol, y no la Tierra, era el centro del

Escaneado con CamScanner

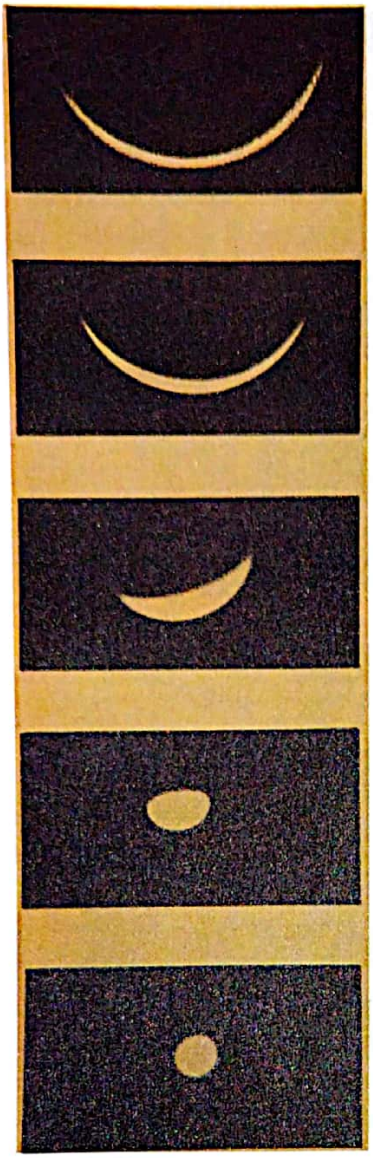


Fig. 2.74 *Vista a través del telescopio, Venus muestra fases similares a las de la luna.*

universo.

La Tierra era sólo un planeta más que giraba alrededor del Sol, al igual que los demás planetas conocidos: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno y Neptuno.

De esta forma, Aristarco llevó a su conclusión lógica el proceso que comenzara Pitágoras y continuaran Filolao y Heráclito.

Diecisiete siglos antes de Copérnico, había surgido una concepción del mundo que sacaba a la Tierra del centro del Universo.

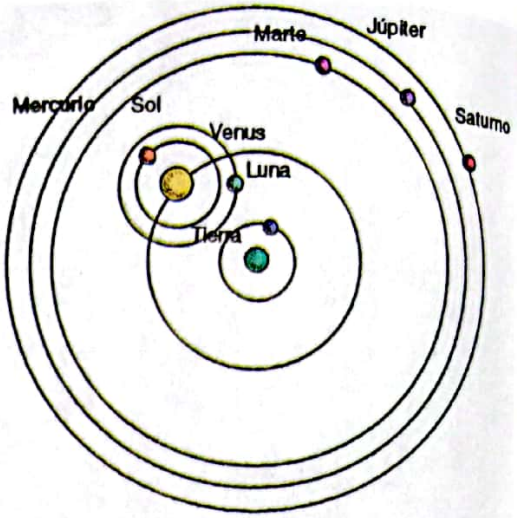


***Fig. 2.75** El sistema planetario de Heráclito.*

Copérnico

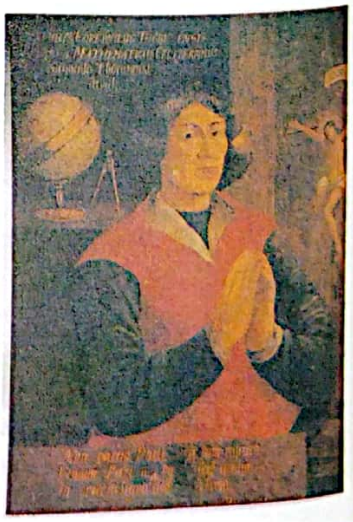
Curiosamente, el sistema heliocéntrico de Aristarco quedó olvidado durante casi dos milenios.

Renació en 1543, cuando fue publicado el libro *De revolutionibus orbium coelestium* (Sobre las revoluciones de las esferas celestes) del canónigo polaco Nicolás Copérnico.

Copérnico había postergado treinta años la publicación de su teoría y sólo pudo ver su libro impreso pocas horas antes de morir.

La teoría copernicana habría de producir una de las revoluciones más profundas en el pensamiento físico.

Fig. 2.76



Paradójicamente, el libro en el que Copérnico formuló sus planteamientos es uno de los libros menos leídos en toda la historia de las ciencias. Su primera edición fue de mil ejemplares que nunca se vendieron. Y en los cuatrocientos años que siguieron, sólo se reimprimió cuatro veces.

Durante más de cincuenta años prácticamente no tuvo ninguna repercusión.

Recién con los trabajos de Kepler y de Galileo, habrían de hacerse realidad todas sus potencialidades.

Escaneado con CamScanner

Fig. 2.77

Kepler

En 1609, el astrónomo alemán Johannes Kepler publicó su obra *Nueva Astronomía* basada en la causalidad o física del Cielo derivada de investigaciones sobre los Movimientos del Astro Marte fundadas en las observaciones del noble Tico Brahe.

Kepler había trabajado en esta obra desde 1600 hasta 1606. El libro contiene dos de sus tres leyes planetarias.

Kepler parte de la idea básica de Aristarco y Copérnico de que en el centro del sistema planetario se encuentra el Sol.

La primera ley se refiere a la forma de la órbita de los planetas en su movimiento alrededor del Sol.

Afirma que las órbitas de los planetas son elipses, y el Sol ocupa uno de sus focos.

PRIMERA LEY DE KEPLER

Las órbitas de los planetas, en su movimiento alrededor del Sol, son elipses. El Sol ocupa uno de sus focos.

La segunda ley se refiere a la velocidad con que se mueven los planetas en su órbita.

Kepler afirma que esta velocidad no es constante, sino que depende de su distancia al Sol.

Según la segunda ley, la velocidad del planeta es tal que una línea trazada desde el Sol hasta el planeta barre siempre áreas iguales en tiempos iguales.

SEGUNDA LEY DE KEPLER

La velocidad del planeta es tal que una línea trazada desde el Sol hasta el planeta barre siempre áreas iguales en tiempos iguales.

La tercera ley aparece en su libro La Armonía del Mundo, publicado en 1619.

Esta ley se refiere al tiempo que demora un planeta en completar una vuelta en su órbita alrededor del Sol, es decir, se refiere a la duración del año para cada planeta.

Según la tercera ley de Kepler, el cuadrado del tiempo que demora un pleneta en completar una vuelta es proporcional al cubo de su distancia media al Sol.

Llamemos:

T1 al tiempo que demora un planeta en completar una vuelta,

T2 al tiempo que demora un segundo planeta en completar su vuelta,

Escaneado con CamScanner

R1 a la distancia entre el primer planeta y el Sol, y
R2 a la distancia entre el segundo planeta y el Sol.
Entonces, la tercera ley de Kepler establece que:

$$\frac{(T1)^2}{(T2)^2} = \frac{(R1)^3}{(R2)^3}$$

TERCERA LEY DE KEPLER

El cuadrado del tiempo que demora un pleneta en completar una vuelta es proporcional al cubo de su distancia media al Sol.

Las leyes de Kepler ocupan un lugar fundamental en la historia del pensamiento físico.

Deben ser consideradas como las primeras leyes de la naturaleza en el sentido moderno de la expresión: afirmaciones precisas, verificables, expresadas en términos matemáticos, sobre relaciones generales que rigen un campo específico de fenómenos.

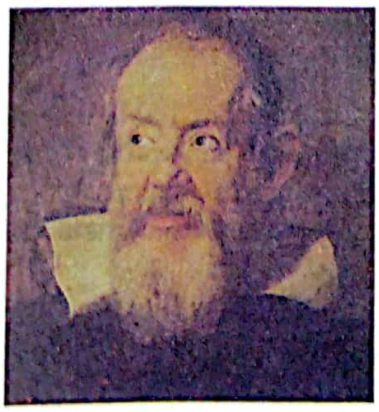
A partir de ellas, tres cuartos de siglo más tarde, Newton construyó su monumental edificio.

No es fácil dar, en palabras sencillas, una idea de la impresionante originalidad y de las enormes dificultades que significaron, para su época, le formulación de estas leyes que hoy parecen tan simples.

Se conocía, con bastante precisión, la forma en que variaba la dirección en que se ve Marte desde la Tierra. Pero no se tenía ninguna información confiable respecto a las distancias entre Marte y el Sol o entre Marte y la Tierra. Era necesario tomar en cuenta, además, que la Tierra misma estaba en movimiento, y se desconocía la forma de su trayectoria.

Como si fuera poco, fue necesario romper con un mito que se venía arrastrando desde hacía dos milenios: la idea de que la órbita de los planetas debía ser la combinación de movimientos circulares.

Fig. 2.78



Galileo

Galileo Galilei fue el fundador de la Mecánica, tal como hoy la concebimos.

Era contemporáneo de Kepler. Había nacido en 1564, cinco años antes que Kepler y desde muy joven había hecho suya la concepción heliocéntrica.

En 1609 construyó un telescopio, basándose en la descripción de un aparato similar que había sido inventado poco antes en Holanda, y lo dirigió hacia el cielo.

Escaneado con CamScanner

Resumió sus observaciones en *El Mensajero de los Astros*, un pequeño libro publicado en 1610.

Fue la primera publicación científica de Galileo y produjo un impacto de gandes proporciones entre los hombres de ciencia de la época. No sólo informaba acerca de cuerpos celestes absolutamente desconocidos hasta entonces, sino que estaba escrito, además, en un estilo claro, simple, positivo, que ningún estudioso había empleado antes.

Tras una breve introducción, Galileo describía sus observaciones de la Luna, de las cuales concluía:

> "La superficie de la Luna no es perfectamente lisa, exenta de desigualdades y exactamente esférica, como cree una amplia escuela de filósofos respecto de la Luna y de otros cuerpos celestes, sino que, por el contrario, está llena de irregularidades, llena de cuencas y protuberancias, y es desigual, lo mismo que la superficie de la propia Tierra, que en todas partes presenta accidentes de elevados montes y profundos valles."

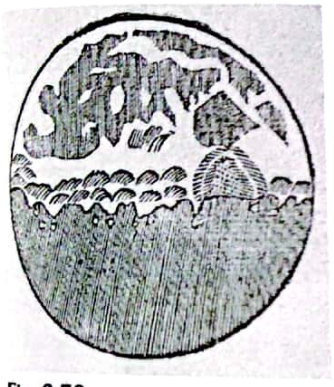


Fig. 2.79

Luego relataba cómo el telescopio había permitido ver "otras estrellas, que nunca se habían visto antes y que superan en número a las antiguas, a las ya conocidas, en más de diez veces". Ante el telescopio, la Vía Láctea se disolvía en "una masa de innumerables estrellas, agrupadas en racimos", y lo mismo ocurría con otras nebulosas.

Hacia el término de la obra, se refería a lo que él consideraba lo más importante:

> "Queda la cuestión que, según me parece, merece considerarse como lo más importante de esta obra: que yo haya revelado y hecho público ante el mundo el descubrimiento o la observación de cuatro planetas, nunca antes vistos desde los comienzos del mundo hasta nuestros días."

Aludía al descubrimiento de cuatro satélites que giran en torno a Júpiter.

Los descubrimientos de Galileo con el telescopio significaron un paso trascendental en el desarrollo de las concepciones acerca del Universo.

Los montes y valles de la Luna confirmaban la semejanza que existe entre los objetos terrestres y los objetos del cielo. El número insospechado de estrellas abría las puertas para un Universo prácticamente infinito. Los satélites de Júpiter eran un poderoso argumento en contra de la idea de que todo gira en torno a la Tierra.

Escaneado con CamScanner

La síntesis final de Newton

Hacia mediados del siglo XVII, se había acumulado una gran cantidad de información acerca del movimiento de los cuerpos celestes.

Se trataba de información del más diverso tipo, muy dispersa e, incluso, a veces contradictoria.

Sin esta información, sin los aportes de científicos de la talla de Copérnico, Kepler, Galileo y varios otros, la labor sintetizadora de Newton no habría sido posible.

El propio Newton lo reconoció en términos muy gráficos:

> "Si he podido ver más lejos que mis contemporáneos es porque me he subido sobre los hombros de gigantes."
>
> **Newton**

La gran síntesis de Newton se basa, por un lado, en las tres leyes que ya hemos conocido en páginas anteriores.

En la mecánica de Newton, estas leyes son válidas para cualquier tipo de movimiento y para cualquier tipo de interacción.

Para completar el cuadro, Newton formula una ley que permite determinar las fuerzas gravitatorias, que son las responsables del tipo de movimiento que muestran los planetas.

Esta ley, la Ley de Gravitación Universal, merece que le dediquemos un apartado especial.

Escaneado con CamScanner

LA LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Al tratar el concepto de fuerza, definimos, en primera aproximación, el peso de un cuerpo como la fuerza con que la Tierra atrae al cuerpo.

Ese fue nuestro primer encuentro con un tipo de fuerzas de enorme importancia, especialmente a nivel astronómico.

Nos referimos a las fuerzas gravitatorias.

A modo de resumen, recordemos las siguientes ideas:

a) La Tierra atrae a todos los cuerpos situados en su superfice o cerca de ella. Esta fuerza con que la Tierra atrae al cuerpo es lo que denominamos peso del cuerpo.

b) La fuerza con que la Tierra atrae a un cuerpo depende de dos factores: por una parte, depende de la masa del cuerpo y, por otra parte, depende de la distancia entre el cuerpo y el centro de la Tierra.

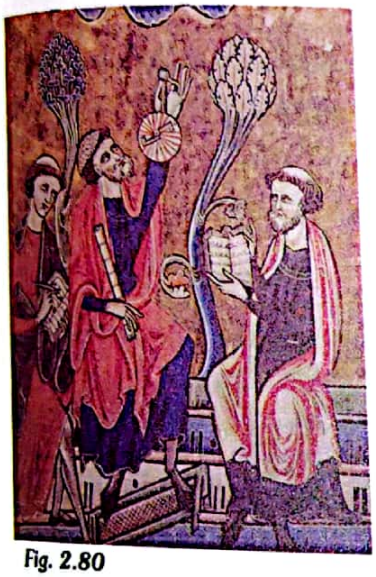


Fig. 2.80

c) El peso de un cuerpo en otro planeta es, por lo general, diferente de su peso en la Tierra. Es decir, si colocamos un cuerpo en la superficie de diferentes planetas, observaremos que cada uno de éstos atrae al cuerpo con una fuerza diferente.

Estas ideas serán el punto de partida de nuestro estudio de las fuerzas gravitatorias.

Considerar el peso como una fuerza ejercida por la Tierra contradice la opinión bastante frecuente de que el peso es una propiedad del cuerpo.

Incluso, durante mucho tiempo, los científicos y filósofos pensaron que el peso era una manifestación de una tendencia natural de los cuerpos a moverse hacia abajo.

De acuerdo a nuestra concepción, en cambio, el peso no es una propiedad del cuerpo, sino que es el resultado de la acción de la Tierra sobre el cuerpo. Tanto es así que un mismo cuerpo puede tener diferentes pesos en diferentes planetas.

Esta forma de concebir el peso surgió hace sólo unos 300 años.

Y surgió junto a otra idea que en ese entonces era verdaderamente revolucionaria: la idea de que el peso pertenece al mismo tipo de fuerzas que determinan el movimiento de los planetas. Es decir, la fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos y que es la fuerza responsable de

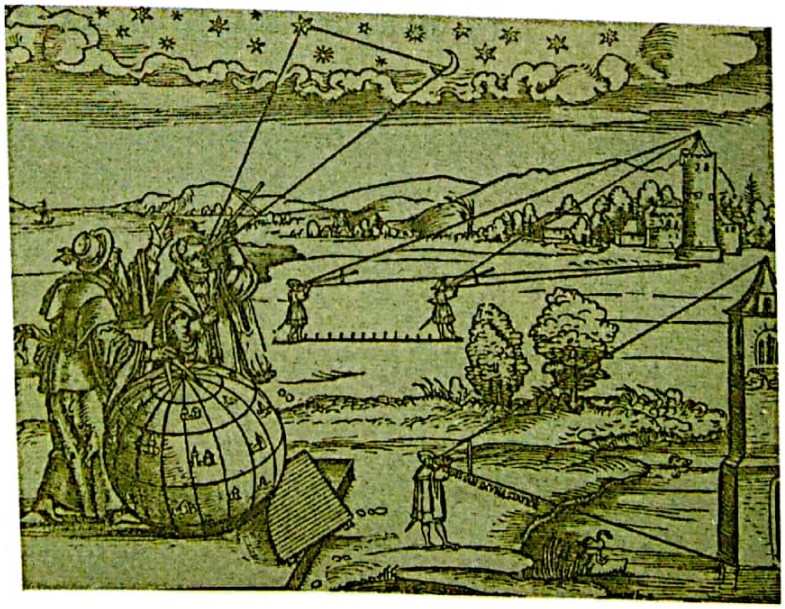


Fig. 2.81

Escaneado con CamScanner

la caída de los cuerpos, es del mismo tipo que la fuerza con que el Sol atrae a la Tierra y que mantiene a la Tierra en su órbita.

Esta síntesis de la Tierra y el cielo, de lo terrestre con lo celeste, rompía un axioma que se había mantenido firmemente durante dos milenios: la idea de que los cuerpos celestes estaban regidos por leyes diferentes que los cuerpos en la Tierra.

Varios de los físicos más talentosos de esa época estuvieron muy cerca de establecer la ley de la gravitación universal. Entre ellos Kepler.

Pero fue Newton el que llegó a formularla con una simplicidad y elegancia francamente genial.

La conclusión a que llegó Newton fue la siguiente:

LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Todo cuerpo atrae a todo otro cuerpo. Esta fuerza de atracción es proporcional al producto de sus respectivas masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

De acuerdo a esta ley:

a) todos los cuerpos que existen se atraen mutuamente, y

b)la fuerza con que se atraen dos cuerpos cualesquiera depende de tres factores: la masa de uno de ellos, la masa del segundo y la distancia que los separa.

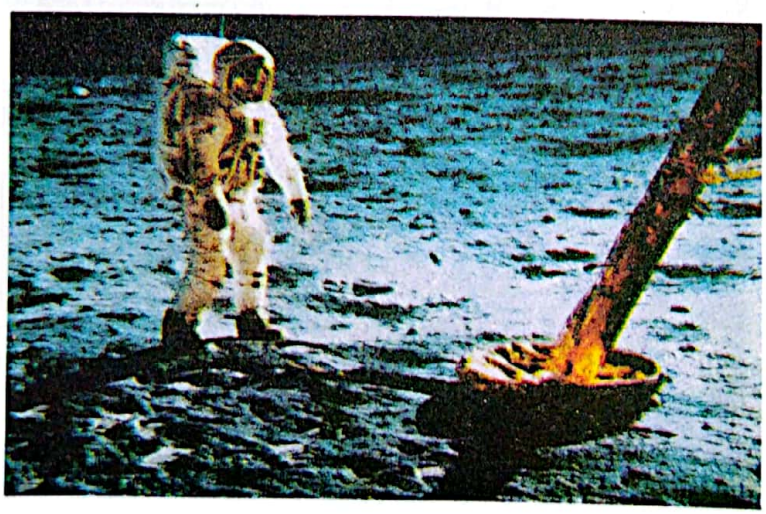
Si aplicamos la ley de gravitación universal al caso del peso de un objeto, veremos que ella explica algunos de los hechos ya conocidos.

Por una parte, la idea de que la Tierra atrae al objeto. Ello es así, porque todos los cuerpos se atraen unos a otros.

Sabíamos también que esta fuerza depende de la masa del objeto.

Lo interesante, sin embargo, es el hecho de que la ley de gravitación universal, además de concordar con los hechos conocidos, proporciona información nueva, que no conocíamos.

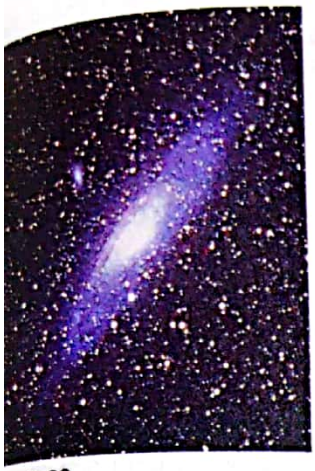
Fig. 2.82



Dice, por ejemplo, que la fuerza de atracción entre el objeto y la Tierra depende no sólo de la masa del objeto, sino también de la masa de la Tierra.

El hecho de que el peso de un cuerpo en la Luna sea diferente del peso del mismo cuerpo en la Tierra se explica, entonces, porque la Luna tiene una masa diferente que la Tierra y porque el radio de la Luna es diferente del radio de la Tierra, con lo cual la distancia entre el objeto y el centro de la Luna es también diferente.

Escaneado con CamScanner



ig. 2.83

La ley de gravitación universal dice, además, que el objeto y la Tierra se atraen mutuamente.

Es decir, la Tierra atrae al objeto y, a su vez, el objeto atrae a la Tierra.

Esto último resulta un tanto sorpresivo. En algunas páginas más volveremos sobre este punto.

La ley de gravitación universal puede ser expresada mediante una ecuación matemática.

Ello tiene la ventaja de que permite captar de una sola ojeada la influencia que ejerce cada una de las variables en juego.

Además, permite realizar análisis cuantitativos de situaciones concretas.

EXPRESION ALGEBRAICA DE LA LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

$$F = \frac{G \cdot m1 \cdot m2}{R2}$$

En esta expresión:

F representa la fuerza con que se atraen gravitatoriamente dos cuerpos,
m1 es la masa de uno de los cuerpos,
m2 es la masa del otro cuerpo,
R es la distancia que separa a ambos cuerpos, y
G es una constante.

Nota: En el caso de que los cuerpos puedan considerarse como esferas, la distancia R debe medirse entre sus respectivos centros.

En la ecuación aparece una magnitud que ha sido designada mediante la letra G.

Esta magnitud G es una constante.

Su valor depende de las unidades que elijamos para medir la fuerza, las masas y la distancia.

Pero una vez elegidas las unidades, el valor de G no depende de ningún otro factor. Tiene el mismo valor cualesquiera que sean los cuerpos considerados, la distancia que los separe o el lugar del universo en que se encuentren.

Es una constante universal. Por ello se le conoce como la constante de gravitación universal.

Si medimos la fuerza, la masa y la distancia en unidades del Sistema Internacional, entonces la constante G tiene el valor:

Escaneado con CamScanner

$$G = 6{,}7 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m}{kg^2}$$

La ecuación dada permite calcular la magnitud de la fuerza con que un cuerpo atrae a otro.

Para conocer su dirección, basta recordar que se trata de una fuerza de atracción.

Hemos visto que la fuerza gravitatoria depende de la masa de los cuerpos considerados y de la distancia que los separa.

En el caso de los objetos que normalmente nos rodean, las fuerzas de atracción gravitatorias que ellos se ejercen mutuamente son muy pequeñas, de modo que en casi todos los casos podemos olvidarnos de ellas.

Una excepción importante es la fuerza de atracción gravitatoria entre un objeto cualquiera y la Tierra. En tal caso, la masa de la Tierra es tan grande que difícilmente podríamos hacer caso omiso de la fuerza de atracción que ella ejerce.

A nivel del sistema planetario o, incluso, de galaxias enteras, la masa de los cuerpos involucrados es tan grande que compensa las enormes distancias entre ellas.

De hecho, son las fuerzas gravitatorias las que determinan el movimiento de los cuerpos celestes.

Ya hicimos notar que las fuerzas gravitatorias son fuerzas que dos cuerpos se ejercen mutuamente.

No se trata sólo de que un cuerpo atrae a otro. Se trata de que dos cuerpos se atraen entre sí: el primero atrae al segundo y el segundo atrae al primero.

En este sentido, las fuerzas gravitatorias constituyen siempre un tipo de interacción.

Decir que dos cuerpos interactúan gravitatoriamente equivale a afirmar que esos dos cuerpos se ejercen mutuamente fuerzas de atracción gravitatoria.

Es más. La ecuación es totalmente simétrica con respecto a ambos cuerpos.

Por la propiedad de conmutatividad de la multiplicación, podemos invertir el orden de las masas $m1$ y $m2$ en la ecuación sin que ello afecte el resultado en lo más mínimo.

De modo que las fuerzas gravitatorias que dos cuerpos se ejercen mutuamente son iguales en magnitud. La Tierra atrae al Sol con una fuerza igual a la fuerza con que el Sol atrae a la Tierra.

Es fácil ver, además, que ambas fuerzas tienen direcciones contrarias.

Como puedes ver, estas consideraciones muestran claramente que las fuerzas gravitatorias satisfacen la Tercera Ley de Newton.

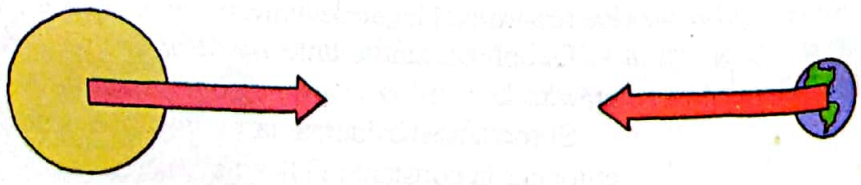


Fig. 2.84

Escaneado con CamScanner

Actividades

Para resolver los problemas que siguen, obtén de la tabla siguiente los datos que consideres necesarios :

TABLA 2.2

	Masa (kg)	Radio (m)	Distancia al Sol (m)
Sol		$2.0 \cdot 10^{30}$	
Tierra	$6.0 \cdot 10^{24}$	$6.4 \cdot 10^{6}$	$1.5 \cdot 10^{11}$
Luna	$7.4 \cdot 10^{22}$	$1.7 \cdot 10^{3}$	
Venus	$4.8 \cdot 10^{24}$	$6.2 \cdot 10^{6}$	$1.1 \cdot 10^{11}$
Marte	$6.4 \cdot 10^{23}$	$3.4 \cdot 10^{6}$	$2.3 \cdot 10^{11}$
Júpiter	$1.9 \cdot 10^{27}$	$7.2 \cdot 10^{7}$	$7.8 \cdot 10^{11}$
Saturno	$5.7 \cdot 10^{26}$	$6.0 \cdot 10^{7}$	$1.4 \cdot 10^{8}$

Distancia entre la Tierra y la Luna: $3{,}8 \cdot 10^{8}$ m

1. a) Determina la fuerza de atracción que la Tierra ejerce sobre la Luna.

b) ¿Qué fuerza ejerce la Luna sobre la Tierra?

2. a) ¿Con qué fuerza se atraen gravitatoriamente un joven de 70 kg y una muchacha de 50 kg cuando sus centros se encuentran a una distancia de 0,25 m?

b) De acuerdo con tus cálculos, ¿dirías que las fuerzas gravitatorias juegan un papel importante en la atracción que normalmente se observa entre jóvenes de diferente sexo?

3. Después de analizar la ley de gravitación, Augusto ha llegado a la siguiente conclusión: Si se disminuye paulatinamente la distancia que separa dos esferas de metal, la fuerza de atracción gravitartoria entre ellas irá aumentando cada vez más. Cuando las dos esferas se toquen la fuerza llegará a ser enorme, puesto que en ese momento la distancia que las separa es prácticamente cero.

¿Qué opinas tú?

4. La Tierra está ejerciendo sobre ti una fuerza de atracción de tipo gravitatorio. ¿Cuánto mide esa fuerza?

5. Es posible que para responder la pregunta anterior hayas aplicado la ley de gravitación universal. ¿Existe una forma más simple de llegar al mismo resultado?

Escaneado con CamScanner

EL MOVIMIENTO DE CAIDA LIBRE

Desde pequeños nos hemos familiarizado con el hecho de que los objetos que se sueltan en el aire, caen.

Este movimiento de caída es, en general, bastante rápido.

Es tan común esta experiencia que llega a considerarse como un propiedad intrínseca a todo cuerpo y normalmente no nos preguntamos por qué razón caen los cuerpos.

Incluso resulta un tanto sorprendente para los niños en la escuela saber que la caída de los cuerpos es el efecto de la acción de una fuerza: la fuerza de atracción que la Tierra ejerce sobre el cuerpo.

En este apartado queremos conversar algo más acerca del movimiento de caída.

Nuestro estudio del movimiento de caída parte de reconocer que la causa de la caída es la acción de la fuerza de atracción gravitatoria ejercida por la Tierra.

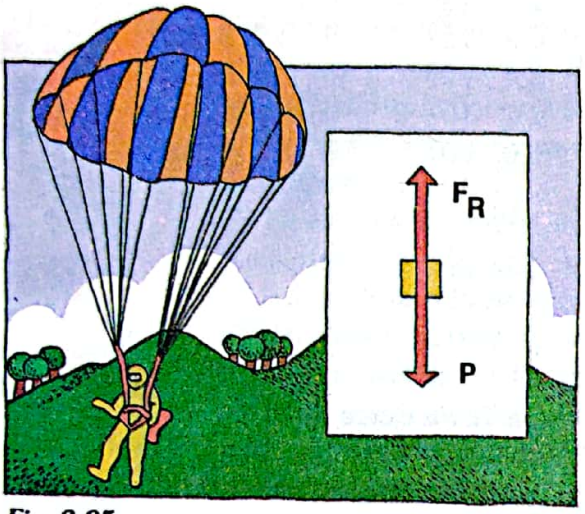


Fig. 2.85

Como ya vimos anteriormente, esta fuerza es precisamente lo que llamamos el peso del cuerpo.

Durante la caída de un cuerpo actúan sobre él dos fuerzas: el peso y la fuerza de roce ejercida por el aire.

El peso está dirigido hacia abajo, el roce está dirigido en dirección contraria a la velocidad del cuerpo.

Siguiendo nuestro predicamento de simplificar las situaciones complejas, supondremos que la fuerza de roce es muy pequeña en comparación con el peso, de modo que podemos considerar que sobre el cuerpo actúa una única fuerza: el peso.

Daremos el nombre de caída libre al movimiento de un cuerpo sobre el cual actúa una única fuerza: la fuerza de atracción gravitatoria.

Ello implica suponer que toda otra fuerza que eventualmente estuviera actuando sobre el cuerpo es despreciable en relación con la atracción gravitatoria.

En especial, al hablar de caída libre estamos suponiendo que el roce es despreciable.

Observe que el concepto de caída libre, de acuerdo con la definición que acabamos de dar, es más amplio de lo que generalmente se entiende por caída.

> Damos el nombre de "caída libre" al movimiento de un cuerpo sobre el cual sólo actúa una única fuerza: la fuerza de atracción gravitatoria.

En esta defincion entra, desde luego, el movimiento de un objeto que es soltado desde cierta altura.

Pero entra también el movimiento de un objeto que ha sido lanzado verticalmente, o que ha sido lanzado en alguna dirección oblicua cualquiera.

Escaneado con CamScanner

Fig. 2.86

Es también una caída libre el movimiento de un satélite artificial que gira en torno de la Tierra, o el movimiento de la Luna en torno a la Tierra. También lo es el movimiento de la Tierra y de todos los planetas en el campo gravitatorio del Sol.

Una nave lanzada desde la Tierra en dirección a Júpiter, por ejemplo, se mueve durante la mayor parte de su trayecto en caída libre. Sólo cuando se accionan los motores, actúan sobre la nave otras fuerzas y su movimiento deja de ser un movimiento de caída libre.

Tal vez usted considere que una definición tan amplia es un tanto exagerada.

Pero la verdad es que estos movimientos tienen muchas características en común, de modo que reunirlos a todos ellos bajo una misma denominación resulta bastante apropiado. Y como se tenía a mano la expresión caída libre, se decidió hacer uso de ella.

De todas maneras, en esta ocasión limitaremos nuestro análisis al caso más simple de caída libre: el movimiento de un objeto que se deja caer desde cierta altura.

Galileo y la caída libre

Fig. 2.87 Portada de los "Diálogos sobre los dos sistemas del Mundo" de Galileo

El primer físico que estudió la caída libre en forma experimental fue Galileo.

Sus experimentos están descritos en su último libro Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias relativas a la mecánica y a los movimientos locales.

Cuando Galileo escribió su libro, vivía prácticamente como prisionero de la Inquisición y tenía estricta prohibición de escribir nada relacionado con la Física.

Estaba viejo, enfermo y casi ciego. Sin embargo, su estilo y el espíritu del libro no reflejan su triste situación.

El libro está escrito en forma de una conversación entre tres personajes: Simplicio, que representa las concepciones aristotélicas que Galileo desea combatir, Salviati, que representa la nueva visión de Galileo, y Sagredo, que representa al ciudadano común, de buena voluntad y espíritu abierto, siempre dispuesto a aprender.

Resulta muy instructivo conocer algunas de las formas en que Galileo encaró los problemas que le interesaba estudiar.

Nos detendremos en dos temas:

- la relación entre el peso y la velocidad de caída, y
- las características del movimiento de caída libre.

Escaneado con CamScanner

¿Caen más rápido los cuerpos más pesados?

Es bastante común la creencia de que los cuerpos más pesados caen mucho más rápido que los cuerpos livianos.

En el Primer Grado pudimos realizar algunos experimentos muy simples relacionados con este tema.

Te invitamos a repetir estos experimentos:

Experimento 1

Primera versión del experimento.

Toma dos monedas que sean claramente de diferente peso.

Déjalas caer, al mismo tiempo, desde cierta altura.

¿Cae la más liviana visiblemente más tarde que la más pesada?

El experimento muestra que, si hay alguna diferencia en la velocidad de caída de ambas monedas, esta diferencia es muy pequeña, de modo que resulta difícil determinar si ambas llegan realmente al mismo tiempo al suelo o si una de ellas llega más tarde que la otra.

A fin de tener una respuesta más clara a nuestra pregunta, refinaremos el experimento.

Para ello, en lugar de utilizar la vista, utilizaremos el oído. Esta vez, el oído es más fino que la vista.

Experimento 2

Una nueva versión del experimento

Busca un lugar en que el piso sea de madera, de baldosa, o de otro material suficientemente duro de modo que las monedas al caer produzcan un sonido claramente audible.

Al realizar el experimento, asegúrate de que, en el momento de soltar las monedas, el borde inferior de ambas esté a la misma altura. (¿Por qué debemos fijarnos en el borde inferior, y no en el centro o en el borde superior de las monedas?)

Ahora estamos preparados. Fija tu atención en el ruido que harán las monedas al golpear contra el suelo.

Si escuchas un "tap...tap", entonces podrás afirmar que una de ellas ha caído más rápido que la otra.

Si escuchas un solo "tap" o un "trap", entonces podrás afirmar que la moneda más liviana cae con igual rapidez que la moneda pesada.

Realiza el experimento. ¿Cuál fue su resultado?

Escaneado con CamScanner

Es posible que el experimento realizado haya resultado un tanto sorprendente. Después de todo, todos sabemos que una hoja de papel cae mucho más lento que un objeto de metal. ¿O no?

Para salir de dudas, realiza el experimento 3.

Experimento 3

UNA MONEDA Y UN TROZO DE PAPEL

Deja caer al mismo tiempo un trozo de papel y una moneda.

¿Cuál llega primero al suelo?

Surge, entonces, la pregunta: ¿por qué este experimento da un resultado contradictorio con el anterior?

Experimento 4

NUEVAMENTE LA MONEDA Y EL TROZO DE PAPEL

Con el fin de tener más claridado, repite el experimento anterior, pero, esta vez, arruga el trozo de papel hasta formar una bola compacta.

¿Qué resultado arroja este experimento?

El experimento 4 sugiere un nuevo experimento: dejar caer dos trozos iguales de papel, uno de ellos extendido y el otro formando una bolita de papel.

Seguramente, tú ya tienes una idea de cuál será el resultado.

Experimento 5

DOS TROZOS DE PAPEL

Coge dos trozos iguales de papel.

Arruga uno de ellos hasta formar una bola. Deja caer ambos trozos de papel al mismo tiempo.

¿Cuál cae más rápido? ¿Era eso lo que tú esperabas?

Escaneado con CamScanner

El enfoque de Galileo

Reproduzcamos, a continuación, algunos párrafos del libro de Galileo en los que Simplico, Salviati y Sagredo discuten acerca de la posición de Aristóteles, quien sostenía que los cuerpos más pesados caen con mayor velocidad que los livianos.

Salviati: Dudo mucho que Aristóteles haya puesto a prueba realmente, mediante un experimento, su afirmación de que dos piedras, una de las cuales pesa diez veces más que la otra, si se dejan caer al mismo tiempo desde una altura de, digamos, unos 100 codos, caen con velocidades tan diferentes que cuando la más pesada llega al suelo la otra no ha caído más de 10 codos.

Simplicio: Su forma de expresarse parece indicar que él realizó el experimento, pues dice: "vemos el más pesado"; la palabra "vemos" muestra que él hizo el experimento.

Sagredo: Pero yo, Simplicio, que he hecho la prueba, te puedo asegurar que una bala de cañón que pesa cien o doscientas libras, o aún más, no llega al suelo con una diferencia de más de un palmo con respecto a una bala de mosquete que sólo pesa media libra, suponiendo que ambas se dejan caer desde un altura de 200 codos.

Fig. 2.88

Salviati: Pero aun sin mayores experimentos es posible probar claramente, mediante un argumento corto y conluyente, que un cuerpo más pesado no puede caer más rápido que uno más liviano, suponiendo que ambos están hechos del mismo material. Tú estarás de acuerdo, Simplicio, con que cada cuerpo que cae adquiere una cierta velocidad, determinada por la naturaleza, y que no puede ser aumentada ni disminuida excepto por el uso de la fuerza o por medio de una resistencia.

Simplicio: No puede haber dudas de que un mismo cuerpo moviéndose en un mismo medio alcanza una velocidad fija que está determinada por la naturaleza, y que no puede ser aumentada, excepto si le damos un impulso, ni puede ser disminuida, excepto si sufre la acción de algún tipo de resistencia.

Salviati: Si, entonces, tomamos dos cuerpos cuyas velocidades naturales son diferentes, es claro que al unirlos, el cuerpo más rápido se verá retardado en parte por el más lento, y el más lento, a su vez, se verá acelerado en parte por el más rápido. ¿Estás de acuerdo?

Simplicio: Tienes toda la razón.

Salviati: Pero si esto es cierto, y una piedra grande cae con una velocidad, digamos, de ocho, y una menor cae con una velocidad de cuatro, entonces cuando se unen ambas, el sistema se moverá con una velocidad menor que ocho. Pero las dos piedras unidas hacen una piedra más pesada que la que se movía con una velocidad de ocho. Por lo tanto, llegamos a la conclusión de que un cuerpo más pesado cae con menor velocidad que uno más liviano, un resultado que es contrario a tu suposición inicial. Así, puedes ver que de tu suposición de que los cuerpos más pesados caen con mayor velocidad que los livianos, yo infiero que los cuerpos más pesados deben caer más lentamente.

Escaneado con CamScanner

Simplicio: Estoy totalmente deconcertado... No logro comprender...

¿Qué tipo de movimiento es la caída libre?

Otro de los problemas que se planteó Galileo fue el de establecer las características que tiene el movimiento de caída de los cuerpos.

Como tú habrás podido apreciar, se trata de un movimiento muy rápido. Si dejamos caer una piedra desde una altura de unos 10 metros, llegará al suelo en menos de 1.5 s.

No resulta fácil, entonces, estudiar en detalle este movimiento, sin disponer de instrumentos de medición adecuados.

Veamos cómo enfrentó Galileo estas dificultades.

Una hipótesis

Galileo parte del hecho de que, si dejamos caer un objeto desde cierta altura, éste irá aumentando paulatinamente su velocidad a medida que cae.

Decide, entonces, seguir "los hábitos y costumbres de la naturaleza misma, quien emplea sólo aquellos medios que son los más comunes, simples y fáciles":

"Así, cuando observo que una piedra, que se encontraba inicialmente en reposo, cae desde una posición elevada y va incrementando contiuamente su velocidad, ¿por qué no suponer que este incremento de velocidad tiene lugar en una forma extraordinariamente simple y obvia para cualquier persona?

Si ahora examinamos cuidadosamente esta cuestión, no encontraremos ninguna forma de adición o incremento más simple que aquél en que el incremento se repite siempre de igual manera."

Basándose en esta argumentación, Galileo formula la hipótesis de que en el movimiento de caída libre la velocidad va aumentando uniformemente. Es decir, supone que, en iguales intervalos de tiempo, la velocidad aumenta en la misma cantidad.

En otras palabras, la hipótesis de Galileo equivale a suponer que la velocidad con que el cuerpo llega el suelo es proporcional al tiempo que demora la caída.

O sea, Galileo supone que:

$$v_{final} = a \cdot t_{caída} \quad (1)$$

en que a es una constante.

No te será difícil mostrar que esta constante es, precisamente, la aceleración.

Una predicción

Dado que resulta muy difícil verificar directamente si esta suposición es verdadera o falsa, Galileo decide emplear un camino indirecto: extraer una conclusión lógica de su hipótesis y constatar experimentalmente esta conclusión.

Veamos cómo lo hizo.

Sabemos que, en un movimiento con velocidad constante, se cumple que:

$$d = v \cdot t \quad (2)$$

Escaneado con CamScanner

Si la velocidad no es constante, esta relación se convierte en:

$$d = v_{media} \cdot t \qquad (3)$$

en que vmedia es la velocidad media.

Ahora bien, si se cumple la ecuación (1), entonces existe una relación muy simple entre la velocidad final y la velocidad media:

$$v_{media} = \frac{v_{final}}{2} \qquad (4)$$

Si reemplazamos este valor de la velocidad media en la ecuación (3) y aplicamos la ecuación al caso de la caída, obtenemos:

$$d_{caída} = \frac{v_{final}}{2} \cdot t_{caída} \qquad (5)$$

Y si ahora reemplazamos el valor de la velocidad final que da la ecuación (1), tenemos:

$$d_{caída} = \frac{a \cdot t_{caída}}{2} \cdot t_{caída} \qquad (6)$$

Es decir:

$$d_{caída} = \frac{a}{2} \cdot (t_{caída})^2 \qquad (7)$$

La deducción de Galileo en su libro es un tanto diferente de la que hemos dado aquí, pero la conclusión es la misma:

Si la velocidad de caída aumenta uniformemente, entonces, la altura que cae el cuerpo debe ser proporcional al cuadrado del tiempo que demora en llegar abajo.

La verificación experimental

Con el fin de poner a prueba su hipótesis, Galileo decidió verificar experimentalmente la predicción que acababa de deducir a través de un razonamiento teórico.

Para ello, formuló una nuevo supuesto. Supuso que el movimiento de una esfera que rueda por un plano inclinado es similar el movimiento de un cuerpo cayendo libremente.

Escaneado con CamScanner

Fig. 2.89

La ventaja de utilizar un plano inclinado estriba en que la acleración puede ser mucho menor, con lo cual se facilitan enormamente las mediciones a hacer.

Pero dejemos que sea el propio Galileo quien describa el experimento realizado:

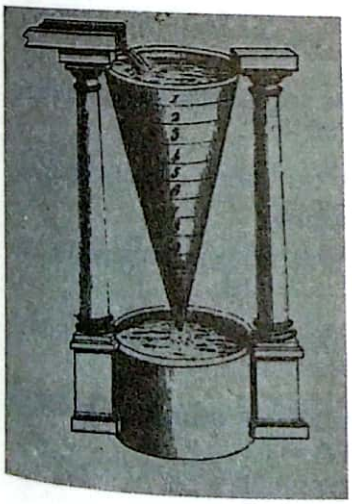
"Se tomó una pieza de madera, de unos 12 codos de longitud (es decir, unos 6 m), y de tres dedos de espesor. En el borde, se hizo una canaleta de poco más de un dedo de ancho, tratando de hacerla muy derecha, suave y pulida, y habiéndola revestido con pergamino de modo de lograr que sea lo más suave y pulida posible, dejamos rodar por la canaleta una esfera de bronce dura, pulida y muy redonda.

Habiendo colocado esta canaleta en posición inclinada, elevando uno de sus extremos uno o dos codos por sobre el otro, dejamos rodar la esfera, como he dicho, a lo largo de la canaleta, midiendo, en una forma que ya describiremos, el tiempo que demoraba el descenso. Repetimos el experimento varias veces a fin de medir el tiempo con una precisión tal que la diferencia entre dos observaciones nunca fuera superior a un décimo del tiempo entre dos pulsaciones del corazón.

Habiendo realizado esta operación y habiéndonos asegurado de su confiabilidad, hicimos rodar la esfera a lo largo de una distancia de sólo un cuarto de la longitud de la canaleta, y al medir el tiempo de descenso, encontramos que era exactamente la mitad del tiempo anterior.

Luego, repetimos el experimento con otras distancias, comparando el tiempo correspondiente a la longitud total con el correspondiente a la mitad, a dos tercios, a tres cuartos o, incluso a una fracción cualquiera de esa distancia. En todos estos experimentos, repetidos un centenar de veces, siempre encontramos que las distancias recorridas eran entre sí como los cuadrados de los tiempos, y esto era válido para cualquier inclinación de la canaleta."

Fig. 2.90



Resulta interesante, asimismo, conocer la forma en que Galileo midió los tiempos en su experimento:

"Para la medición del tiempo, empleamos un gran recipiente de agua colocado a cierta altura. En el fondo del recipiente, soldamos un tubo de pequeño diámetro, de modo de producir una delgado chorro de agua, que recogimos en un vaso.

El agua recogida en el vaso era pesada en una balanza de gran precisión. La proporción entre los valores obtenidos nos daba la proporción entre los respectivos intervalos de tiempo, con una precisión tal que aunque repetíamos la operación muchas veces, no había diferencias apreciables entre los resultados."

Escaneado con CamScanner

Experimento 6

EL EXPERIMENTO DE GALILEO

El experimento de Galileo es tan simple y la descripción que él hace es tan clara que cualquiera podría reproducirlo sin dificultad.

¿Por qué no repites tú mismo este experimento, que fue realizado a comienzos del siglo XVII, y que marca los comienzos de la Física experimental moderna?

La caída libre a la luz de las leyes de Newton

En el apartado anterior hemos analizado experimentalmente el movimiento de caída de los cuerpos.

Adoptemos, ahora, un punto de vista diferente y estudiemos este movimiento sobre la base de la Segunda Ley de Newton.

La segunda ley de Newton afirma que la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo debe ser igual al produto de su masa por la aceleración que adquiere:

$$FN = m \cdot a$$

¿Qué fuerzas actúan sobre un cuerpo durante su caída?

Sabemos que durante la caída actúan dos fuerzas: el peso P y el roce FR.

Analicemos en primer lugar el caso más simple: supongamos que la fuerza de roce que ejerce el aire durante la caída es tan pequeña, comparada con el peso, que puedo considerarla inexistente.

Es decir, supongamos que el cuerpo cae en caída libre.

En otras palabras, estamos suponiendo que durante la caída sobre el cuerpo actuará una sola fuerza: su peso P. Por lo tanto, la fuerza neta será igual al peso.

Introduciendo este último dato en la ley de Newton, tendremos:

$$P = m \cdot a$$

De acuerdo con esta ecuación, el peso de un cuerpo debe ser igual al producto de su masa por la aceleración de caída.

Dado que el peso y la masa del cuerpo son constantes y no varían durante la cáida, podemos deducir que la aceleración deberá ser también constante.

Es decir, el movimiento de caída libre debe ser un movimiento uniformemente acelerado.

Vemos, pues, que la segunda ley de Newton concuerda plenamente con la hipótesis de Galileo.

Sabemos, además, que en ausencia de roce todos los cuerpos caen con la misma aceleración, independientemente de su masa.

Escaneado con CamScanner

A esta aceleración de caída se le conoce bajo el nombre de aceleración de gravedad. Para referirse a ella se acostumbra a utilizar el símbolo g.

Por lo tanto, la última ecuación puede escribirse:

$$P = m \cdot g$$

Esta es una relación muy útil. Vale la pena que le dediquemos un recuadro:

RELACION ENTRE EL PESO Y LA MASA DE UN CUERPO

$$P = m \bullet g$$

En esta ecuación:
P representa el peso de un cuerpo,
m representa su masa, y
g representa la aceleración de gravedad.

En el Sistema Internacional de Unidades,
P se mide en N,
m se mide en kg, y
g se mide en m/s2.

Algo más acerca de la aceleración de gravedad

El valor de g en la Tierra varía de un lugar geográfico a otro, pero manteniéndose siempre alrededor de 9.8 m/s^2.

En la mayor parte de los casos, considerar que g =10 m/s^2 resulta ser una aproximación muy conveniente. Se introduce una error de sólo un 2 %, pero se facilita enormemente el cálculo.

La aceleración de gravedad es bastante alta. Debido a esto, el movimiento de caída es muy rápido.

Si dejo caer un cuerpo, al cabo de un segundo habrá recorrido unos 5 metros y habrá alcanzado una velocidad de unos 10 m/s, es decir, una velocidad de 36 km/h.

En comparación, la aceleración con que parte un carro no supera los 5 m/s^2. Vehículos deportivos especialmente acondicionados pueden alcanzar valores entre 6 m/s2 y 7 m/s^2.

En la superficie de otro planeta, la masa de cada cuerpo será igual a su masa en la superficie de la Tierra, pero su peso será distinto.

Eso implica que la constante g debe tener allí otro valor.

En efecto, la tabla muestra el valor de la aceleración de gravedad g para diferentes planetas.

Escaneado con CamScanner

Tabla 2.3

ACELERACIÓN DE GRAVEDAD EN LA SUPERFICIE DE DIFERENTES PLANETAS

Planeta	g (m/s^2)
Mercurio	3
Venus	8
Tierra	10
Marte	4
Júpiter	25
Saturno	10
Urano	8
Neptuno	11

Tratemos de entender mejor el significado físico de la constante g.

Consideremos un paquete que contiene 1 kg de azúcar. Es decir, su masa es de 1 kg .

Este paquete, aquí en la superficie de la Tierra, es atraído por la Tierra con una fuerza de aproximadamente 10 N.

Si llevamos este mismo paquete hasta la superficie de Júpiter, su masa seguirá siendo de 1 kg, pero su peso, es decir, la fuerza con que Júpiter lo atrae, será muy diferente. En efecto, allí, su peso será de aproximadamente 25 N. El peso de paquete de azúcar en Júpiter será dos y media veces mayor que en la Tierra.

En Marte, sin embargo, su peso será de sólo 4 N. Es decir, en Marte el paquete pesa algo más de la tercera parte de lo que pesa en la Tierra.

Fig. 2.91 *La aceleración de gravedad en Júpiter es dos y media vecesa mayor que en la Tierra.*

A su vez, un paquete de 5 kg de azúcar tendrá un peso de 50 N en la Tierra, de 125 N en Júpiter y de 20 N en Marte.

De modo que si conocemos el valor de la aceleración de gravedad en un planeta, podemos determinar la magnitud de la fuerza con que un objeto es atraído por el planeta en cuestión.

Basta multiplicar la masa del cuerpo por la aceleración de gravedad.

En otras palabras, el valor de g indica la intensidad del efecto gravitatorio que dicho planeta ejerce sobre los cuerpos colocados en su superficie.

Por tal razón, a la constante g se le da también el nombre de intensidad del campo gravitatorio.

Hemos dicho que la aceleración de gravedad en la Tierra presenta pequeñas variaciones en torno a un valor medio de 9,8 m/s^2.

Escaneado con CamScanner

La siguiente tabla ilustra este hecho.

Tabla 2.4

ACELERACIÓN DE GRAVEDAD EN DIFERENTES PUNTOS DE LA TIERRA

Lugar	g(m/s²)
Polo Norte	9.83
Reykiavik, Islandia	9.82
Madrid	9.80
Caracas	9.78
Guayaquil	9.78
Río de Janeiro	9.79
Santiago	9.79
Buenos Aires	9.79
Polo Sur	9.83

La aceleración de gravedad en la superficie de la Tierra está afectada por dos factores: la latitud del lugar y su altura sobre el nivel del mar.

Así, vemos que g en los Polos es aproximadamente 0.05 m/s^2 mayor que en el Ecuador.

En forma similar, a mayor altura, menor será el valor de g. Si tú decides subir el Monte Aconcagua, la cumbre más alta de nuestro continente, deberás esperar una disminución de la aceleración de gravedad. Dicha disminución es de aproximadamente 0.02 m/s^2. En la cumbre del Aconcagua, una persona de 60 kg de masa es atraída por la Tierra con una fuerza 1.2 N menor que a nivel del mar.

Actividades

1. a) ¿Cuánto es tu masa aquí en la Tierra?
b) ¿Cuánto es tu peso aquí en la Tierra?
c) ¿Cuánto sería tu masa en la superficie de Venus?
d) ¿Cuánto sería tu peso en la superficie de Venus?

2. Mireya y Esteban se han casado hace sólo unas pocas horas. Llegan frente al departamento que será en adelante su nidito de amor. En un gesto romántico, Esteban toma a Mireya en sus brazos y entra en la habitación. Pero, sin poder contenerse, dice: "Querida, mucho es mi amor por tí, pero si quieres que vuelva a levantarte en brazos, tendrás que bajar de peso".

Escaneado con CamScanner

¿Ha empleado Esteban la palabra "peso" en el sentido que se le asigna en Física?

3. El señor Morales viaja desde Punta Arenas, en el extremo austral del continente americano, hasta Guayaquil en Ecuador. Considerando que el valor de la aceleración de gravedad es menor en Guayaquil que en Punta Arenas, ¿cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas?

a) El señor Morales será más liviano en Guayaquil que en Punta Arenas.

b) El señor Morales se verá algo más delgado en Guayaquil que en Punta Arenas.

c) El señor Morales tendrá en Guayaquil algunos gramos de menos.

4. ¿En cuánto por ciento varía el peso de un andinista que escala el Monte Aconcagua? (Utiliza la información proporcionada en el texto).

Los gráficos del movimiento de caída

Como sabemos, la caída libre es un movimiento con aceleración constante.

Por ello, el gráfico v en función de t será una línea recta.

Si el cuerpo se deja caer, es decir, si su velocidad inicial es cero, entonces, la recta del gráfico pasará por el origen.

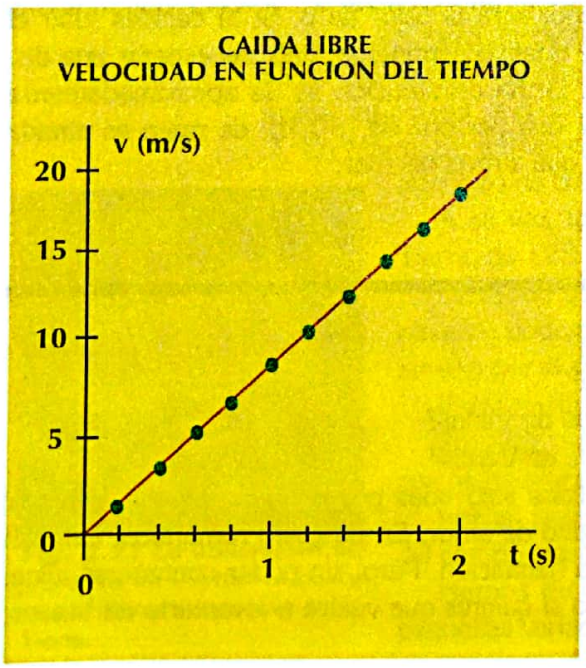
La figura muestra este gráfico para los 2 primeros segundos de la caída.

Los valores del gráfico son válidos para cualquier cuerpo que se deja caer, simpre que el roce durante su caída sea despreciable.

Por su parte, el gráfico x en función de t será una curva ascendente, con pendiente cada vez mayor.

También aquí, los valores del gráfico son válidos para cualquier cuerpo que se deja caer, siempre que el roce durante su caída sea despreciable.

Fig.2.92



Caída de un cuerpo en un medio resistente

Conviene que echemos un breve vistazo al movimiento de caída de un cuerpo cuando la resistencia del aire no es despreciable.

La fuerza de roce que ejerce el aire sobre un objeto que se mueve en él es el resultado de procesos bastante complejos. El objeto, al moverse en aire, debe desplazar moléculas de aire. La resistencia que opone el aire está directamente relacionada con el tipo de movimiento que adquieren las moléculas por efectos del desplazamiento del objeto.

Por ese motivo, los factores que más influyen en la resistencia que opone el aire, son el tamaño y la forma del objeto y la velocidad con que se desplaza.

Un simple experimento muestra que una hoja de papel

Escaneado con CamScanner

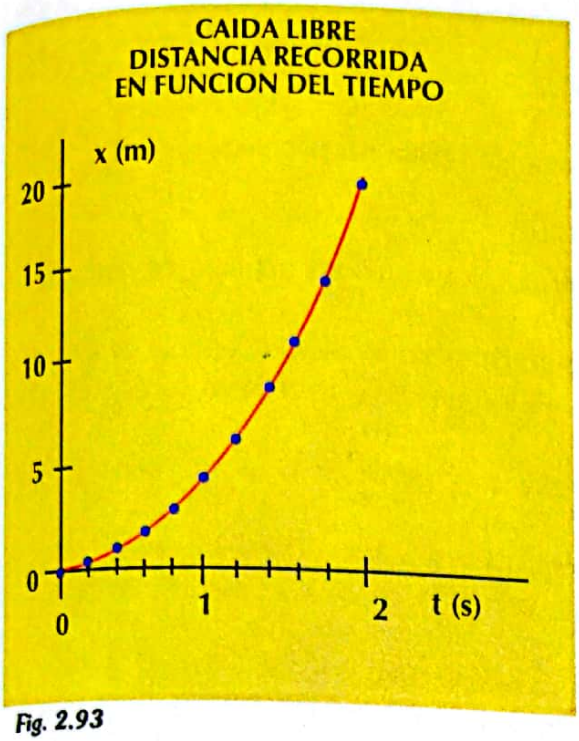


Fig. 2.93

demora mucho menos en llegar al suelo si cae de canto que si cae de plano. Incluso basta formar con ella una pelota de papel para que su caída sea similar a la caída de una moneda.

Actividades

1. Una forma de medir la profundidad de un pozo consiste en dejar caer una piedra en él y medir el tiempo que transcurre hasta que se escucha el golpe de la piedra al chocar contra el fondo del pozo. ¿Qué profundidad atribuirías al pozo si entre el momento en que se suelta la piedra y el momento en que se escucha el golpe contra el fondo transcurren 1.1 s? Utiliza el gráfico dado en el texto.

2. ¿Un paracidista cae en caída libre?

Medición de la aceleración de gravedad de tu ciudad

Hemos dicho que la aceleración de gravedad varía levemente de un lugar a otro.

Basándonos en este hecho, queremos plantearte un desafío.

Se trata de medir la aceleración de gravedad en la ciudad en que vives.

Dado que las variaciones son muy pequeñas, la medición debe ser tan precisa como sea posible. Por ello, se va a necesitar mucha paciencia y mucho cuidado.

En recompensa, podrás decir que has medido el valor local de g con tus propias manos.

Si las tareas difíciles te atraen, he aquí una buena oportunidad de poner a prueba tus habilidades experimentales.

Consideraciones iniciales

Es posible demostrar matemáticamente que el tiempo que demora un péndulo en completar una oscilación depende de la aceleración de gravedad del lugar.

De acuerdo con esto, conociendo el tiempo de oscilación de un péndulo será posible calcular el valor de g.

Para ello, basta aplicar la siguiente fórmula:

$$g = \frac{4\pi^2 \, L}{T^2}$$

Escaneado con CamScanner

En esta ecuación,:
g es la aceleración de gravedad del lugar,
L es el largo del péndulo, y
T es el tiempo que demora una oscilación completa del péndulo.

Procedimiento

1. Con un hilo y una pesa de laboratorio, construye un péndulo de aproximadamente 1.5 m a 2 m.

2. Mide, con la máxima precisión, el largo del péndulo, desde el punto de giro hasta el punto central de la pesa. Repite esta medición unas cuatro a cinco veces y obtén un valor promedio.

3. Haz oscilar el péndulo, sacándolo de su posición de equilibrio unos 10 cm y soltándolo desde allí.

4. Mide el tiempo que demora el péndulo en efectuar 50 oscilaciones. Utiliza un cronómetro que te permita medir con una precisión de, por lo menos, un quinto de segundo.

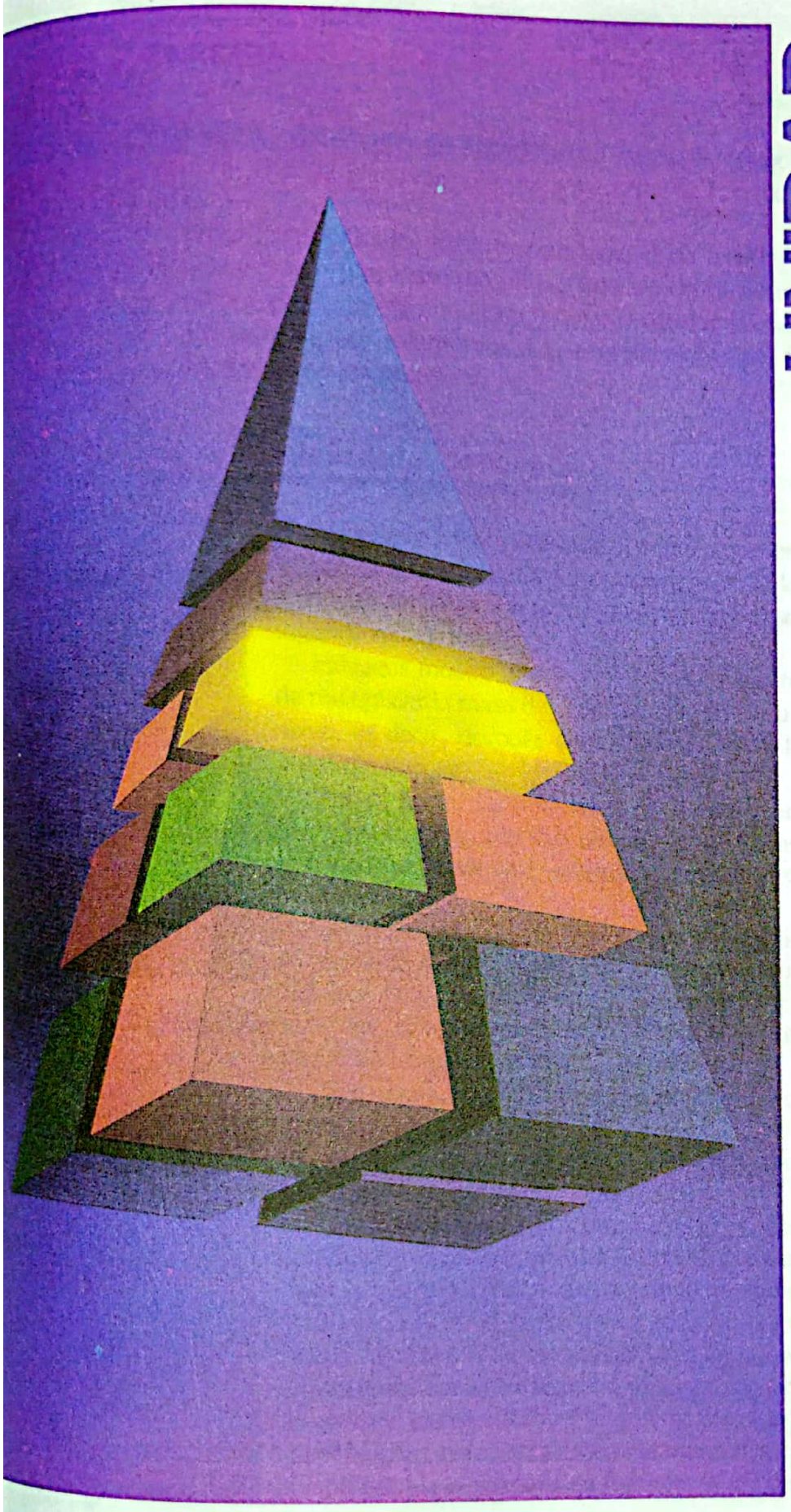
5. Calcula el tiempo correspondiente a una oscilación.

6. Con los valores de L y T, calcula la aceleración de gravedad g usando la fórmula dada.

7. Pide a varios compañeros que repitan la medición y compara todos los resultados obtenidos. Si algún valor discrepa notoriamente, analiza el procedimiento seguido para tratar de determinar posibles causas de error.

8. Determina el valor medio de todos los resultados obtenidos. Ese será la aceleración de gravedad del lugar, de acuerdo con las mediciones hechas por ustedes.

Escaneado con CamScanner



UNIDAD 3

ENERGÍA

Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner

ENERGÍA

El concepto de energía ha llegado a ser bastante conocido. Las expresiones energía atómica, energía eléctrica, energía solar, etc. se han convertido en expresiones cotidianas.

En el Primer Grado, tuvimos oportunidad de familiarizarnos con diversos tipos de energía y con su propiedad más importante: la ley de conservación de la energía.

Ahora, queremos profundizar un tanto en este importante concepto.

En especial, nos referiremos a la energía mecánica, en sus dos formas: la energía cinética y la energía potencial.

El surgimiento del concepto

Es interesante hacer notar que el concepto energía es relativamente reciente.

Los primeros intentos por formular una ley de conservación para una magnitud similar a la energía, parecen remitirse a Huygens y a Leibniz, en la segunda mitad del siglo XVII.

Fig. 3.1

Huygens mostró que, en ciertos tipos de choque, la magnitud que resulta de multiplicar la masa de cada cuerpo por el cuadrado de su velocidad se conserva, es decir, después del choque su suma total tiene el mismo valor que antes del choque.

Por su parte, Leibniz, sin lograr diferenciar claramente los conceptos de fuerza y energía, planteó que la fuerza no es infinita, y que se conserva. Propuso llamar vis viva –expresión latina que significa fuerza viva– al producto $m \bullet .v^2$.

Leibniz estaba convencido de que la *vis viva* no sólo se conserva en ciertos tipos de choque, como había planteado Huygens, sino que es una magnitud que se conserva siempre. Según Leibniz, una piedra lanzada verticalmente hacia arriba, al llegar a su máxima altura, aún posee fuerza, la que nuevamente se hace evidente en forma de vis viva en el descenso.

Fig. 3.2

Con ello, se acercó bastante a los actuales conceptos de energía cinética y energía potencial.

A comienzos del siglo XVIII, Bernouilli propuso el término energía para esta magnitud que se conserva.

Las necesidades de los ingenieros en el desarrollo de la revolución industrial fueron decisivas para dar al concepto de energía la necesaria precisión al tiempo que le conferían una amplitud no sospechada.

El paso decisivo se dio en los años 40 del siglo XIX, a raíz de los estudios acerca del calor y de las posibilidades de convertir trabajo mecánico en calor y viceversa. En estos estudios tuvieron una actuación relevante, entre otros, el médico alemán Robert Mayer, el físico inglés James Prescott Joule y el multifacético científico alemán Hermann von Helmholtz.

Mayer fue el primero en formular la ley de conservación de la energía en

Escaneado con CamScanner

Fig. 3.4

su forma general (1842).

El mérito fundamental de Joule fueron sus extraordinarias mediciones experimentales de la equivalencia entre calor y trabajo mecánico que inició en 1843.

Helmholtz, por su parte, proporcionó hacia 1847 un tratamiento matemático preciso de las transformaciones de energía. Medio siglo más tarde, Einstein daría el paso final a formular la equivalencia entre masa y energía en el marco de su teoría de la relatividad.

Fig. 3.3

La ley de conservación de la energía, así como la rama de la Física que se conoce con el nombre de Termodinámica, son hijos directos de la Revolución Industrial y constituye un hermosos ejemplo de que las grandes necesidades de la sociedad constituyen uno de los más poderosos impulsores del conocimiento científico.

Propiedades de la energía

Fig. 3.5

Entre las principales propiedades del concepto de energía, conviene destacar las siguientes.

1. La energía no es una magnitud vectorial. No está asociada a ninguna dirección y, por lo tanto, no puede ser representada por un vector.

En este sentido, es similar a los conceptos de masa y temperatura.

2. La energía es una magnitud física que caracteriza un cierto estado de un cuerpo. Diremos que tal o cual cuerpo posee o tiene tanta energía.

En este sentido se parece al concepto de masa.

A diferencia de la masa, sin embargo, la cantidad de energía que posee un cuerpo puede variar con mucha facilidad.

3. La energía se puede presentar en una gran variedad de formas. Es decir, existe un gran número de tipos de energía: energía mecánica, energía eléctrica, energía química, energía calórica, energía atómica, energía nuclear, energía luminosa, energía acústica, etcétera.

Digamos, de paso, que un análisis más detenido de los distintos tipos de energía muestra que en verdad es posible agrupar los diferentes tipos en unas pocas formas fundamentales.

Fig. 3.6

Escaneado con CamScanner

4. La energía se puede transformar de un tipo en otro.

De hecho, son precisamente las transformaciones de energía los momentos más dignos de estudio y de mayor importancia práctica.

5. La energía se puede transferir de un cuerpo a otro.

Es decir, un cuerpo puede ceder parte de su energía a otro cuerpo.

6. Sin embargo, la propiedad más importante de la energía es que se conserva: en todas las transformaciones de energía de un tipo en otro y en todas las transferencias de energía de un cuerpo a otro la energía total no aumenta ni disminuye, sino que mantiene su valor.

Hablar del concepto de energía, por lo tanto, es hablar de la ley de conservación de la energía.

Al tratar de definir cada una de las diferentes formas en que se presenta la energía, la piedra de toque, el criterio decisivo para inclinarnos por una u otra definición es que dicha definición debe ser consistente con la ley de conservación.

Unidades de energía

En el Sistema Internacional de Unidades (SI), la unidad de energía es el joule. Su símbolo es la letra mayúscula J.

El múltiplo más común es el kilojoule (kJ). Como ya sabemos, el prefijo kilo está indicando la equivalencia: 1 kJ = 1000 J .

Tabla 3.1

CANTIDAD DE ENERGÍA EN DIFERENTES PROCESOS

Energía necesaria para elevar en 1 °C la temperatura de un litro de agua	$4.2 \cdot 10^3$ J
Energía consumida por una lámpara de 100 W encendida durante una hora	$3.6 \cdot 10^5$ J
Energía que necesita una persona diariamente (promedio aproximado)	10^7 J
Energía que se obtiene por combustión de un litro de gasolina	$3.5 \cdot 10^7$ J
Energía proveniente del Sol que llega a la Tierra en cada segundo	$1.7 \cdot 10^{17}$ J

Escaneado con CamScanner

El joule y sus múltiplos son aplicables a cualquier tipo de energía.

Sin embargo, por razones históricas o prácticas, en determinados campos de la ciencia o de la técnica se emplean otras unidades.

Como el uso de algunas de ellas está muy extendido, es conveniente mencionar aquí por lo menos un par, entregando sus equivalencias en joules.

En Biología, en Química y en estudios relacionados con el calor se emplea con frecuencia la caloría (cal) y su múltiplo la kilocaloría (kcal).

En electricidad, especialmente en sus ramas tecnológicas, se utiliza el kilowatt hora (kW . h).

Sus respectivas equivalencias con el joule se dan en la tabla 3.2.

TABLA 3.2

EQUIVALENCIAS ENTRE DIFERENTES UNIDADES DE ENERGÍA

1 cal	=	4.2 J
1 kcal	=	4200 J
1 kW . h	=	3.6 • 106 J

LA ENERGÍA CINÉTICA

La energía mecánica se presenta bajo dos formas: energía cinética y energía potencial.

Empezaremos nuestro estudio con la energía cinética.

Todo cuerpo que se encuentra en movimiento posee energía, por el sólo hecho de estar moviéndose. A esta energía que poseen los cuerpos que se encuentran en movimiento le damos el nombre de energía cinética.

El hecho de que los cuerpos en movimiento posean energía tiene varias consecuencias:

Por una parte, ello implica que para poner en movimiento un cuerpo que se encuentra en reposo, es necesario proporcionarle energía. Asimismo es necesario proporcionar energía a un cuerpo si queremos aumentar su velocidad.

Esta energía que se proporciona al cuerpo es almacenada en la forma de energía cinética. Para poder disminuir su velocidad o para poder detenerse, el cuerpo tiene que transformar esta energía en otro tipo de energía o entregarla a otro cuerpo.

Analicemos algunos ejemplos concretos.

Ejemplo 1

Al poner en marcha un vehículo, la combustión de la gasolina proporciona una cierta cantidad de energía. Parte de ella se convierte en calor. Por ejemplo, aumenta la

Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner

temperatura del motor. Otra parte se transforma en energía cinética del vehículo.

Si el vehículo marcha con velocidad constante, su energía cinética es también constante y no es necesario entregarle más energía por este rubro. De modo que toda la energía proveniente de la combustión de la gasolina se convierte en calor: aumenta la temperatura del medio ambiente.

Al frenar, la velocidad del vehículo disminuye y se va produciendo una transformación de la energía cinética del vehículo en calor.

Ejemplo 2

Hagamos rodar una esfera de metal sobre una mesa horizontal de modo que choque con otra esfera de igual masa.

Veremos que después del choque la primera esfera queda en reposo en tanto que la segunda se mueve ahora con la misma velocidad que traía la primera. Durante el choque se ha producido una transferencia de energía cinética de la primera a la segunda esfera.

Fig. 3.7

Ejemplo 3

El viento es aire en movimiento. Posee, por lo tanto, energía cinética.

Cuando el viento mueve las aspas de un molino, les está transfiriendo parte de su energía cinética. El molino puede ahora cumplir con su labor de moler trigo, para lo cual requería energía.

¿Cuánto vale la energía cinética

La energía cinética que posee un cuerpo en movimiento depende de dos factores: su masa y su velocidad.

La ecuación que permite calcular la energía cinética de un cuerpo es la siguiente:

Definición de energía cinética

La energía cinética que posee un cuerpo se calcula mediante la ecuación:

$$E_{cin} = \frac{m\,v^2}{2}$$

En esta ecuación:

E cin es la energía cinética del cuerpo,

m es su masa, y

v es su velocidad.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI):

E cin se mide en J ,

m se mide en kg , y

v se mide en m/s .

Actividades

1. Un atleta de nivel internacional puede alcanzar en una carrera corta una velocidad de aproximadamente 12 m/s. Si su masa es de 70 kg, ¿cuánto es la energía cinética que posee a esa velocidad?

2. a) Mide la velocidad con que camina una persona. Utiliza este dato para determinar la energía cinética que ella posee cuando camina a paso normal.

b) Mide la máxima velocidad con que la misma persona anterior puede correr y determina la energía cinética que posee a esa velocidad.

c) Compara los valores obtenidos en estas dos mediciones. ¿Cuántas veces mayor es la energía cinética en carrera que caminando?

3. A continuación se indican varias situaciones. En cada caso, compara las energías cinéticas de las personas mencionadas. Si estas energías no son iguales, indica cuántas veces mayor es una que otra.

a) Madre e hija trotan con igual velocidad. La masa de la madre es el doble de la masa de la hija.

b) Roque y Luterio tienen igual masa, pero Roque va corriendo con una velocidad que es el doble de la velocidad con que corre Luterio.

c) Ana María y Quico tienen igual masa. Luego de una violenta escena entre ellos, Ana María se aleja hacia el sur y Quico hacia el norte, moviéndose ambos con igual velocidad.

d) La masa de Enrique es el doble de la masa de Mario. Pero Mario va corriendo con una velocidad que es el doble de la velocidad con que corre Enrique.

4. Un auto de 800 kg, inicialmente detenido, se pone en movimiento y alcanza la velocidad de 10 m/s.

a) ¿Cuánta energía hay que entregar al auto para que alcance dicha velocidad?

b) Al llegar a un trecho más despejado de la carretera, el auto aumenta su velocidad hasta 20 m/s. ¿En cuánto aumenta su energía cinética?

5. Un tren, cuya masa total es de 600 000 kg, se mueve con una velocidad de 30 m/s . Al acercarse a un tramo peligroso de la vía, disminuye su velocidad hasta 20 m/s . ¿Cuánta energía ha debido entregar al ambiente para que se produzca esta disminución de velocidad?

6. Andrea opina que es matemáticamente imposible que un objeto posea una energía cinética negativa. ¿Qué opinas tú?

Escaneado con CamScanner

EL TRABAJO MECÁNICO COMO MEDIDA DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

El trabajo mecánico

Ahora quisiéramos analizar el caso en que la energía cinética de un cuerpo varía.

Estamos frente a un caso de transferencia de energía.

Para que la energía cinética del cuerpo aumente, es necesario que el cuerpo reciba energía proveniente de otros cuerpos o que se produzca una transformación de energía de algún otro tipo en energía cinética.

Para que la energía cinética disminuya, debe producirse una transferencia de energía desde el cuerpo hacia otros cuerpos o una transformación de energía cinética en otro tipo de energía.

A pesar de la gran variedad de formas que pueden asumir los procesos en los cuales puede variar la energía cinética de un cuerpo, un estudio más detenido muestra que en todos estos casos hay algunos rasgos que son comunes.

En efecto, la experiencia y el análisis teórico muestran que para aumentar o disminuir la energía cinética que posee un cuerpo se requiere de la presencia de tres factores:

I) Debe existir un desplazamiento del cuerpo, es decir, el cuerpo debe moverse.

II) Durante el movimiento del cuerpo debe actuar una fuerza sobre él.

III) Esta fuerza no debe ser perpendicular al desplazamiento.

Si la fuerza tiene la misma dirección que el desplazamiento, entonces se producirá un aumento de la energía cinética del cuerpo.

En este caso, el aumento de energía cinética del cuerpo resulta ser igual al producto de la fuerza por el desplazamiento.

Si la fuerza y el desplazamiento tienen direcciones opuestas, entonces se producirá una disminución de la energía cinética del cuerpo.

La disminución de energía es aquí también igual al producto de la fuerza por el desplazamiento.

El producto de la fuerza por el desplazmiento juega un papel fundamental en las transferencias y transformaciones de energía.

Por tal motivo, el producto fuerza • desplazamiento se hace acreedor a un nombre propio. Lo llamaremos trabajo mecánico y lo designaremos por la letra mayúscula W.

Podemos expresar esta definición en una ecuación:

Escaneado con CamScanner

DEFINICIÓN DE TRABAJO MECÁNICO

El trabajo mecánico efectuado por una fuerza sobre un cuerpo se calcula mediante la ecuación:

$$W = F \cdot d$$

En esta ecuación:

W es el trabajo mecánico,
F es la fuerza que efectúa este trabajo mecánico, y
d es el desplazamiento que experimenta el cuerpo.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI):

W se mide en J,
F se mide en N, y
d se mide en m.

Esta ecuación es válida sólo si la fuerza es paralela al desplazamiento.

Para considerar aquellos casos en que el ángulo que forma la fuerza con el desplazamiento no es 0° ni 180°, será necesario introducir en la ecuación una función trigonométrica.

Por tal razón, nos vemos obligados a postergar por el momento el estudio de tales casos.

En todo caso, podemos adelantar que si la fuerza es perpendicular al desplazamiento, el trabajo mecánico que ella efectúa sobre el cuerpo es nulo.

Signo del trabajo mecánico realizado por una fuerza sobre un cuerpo

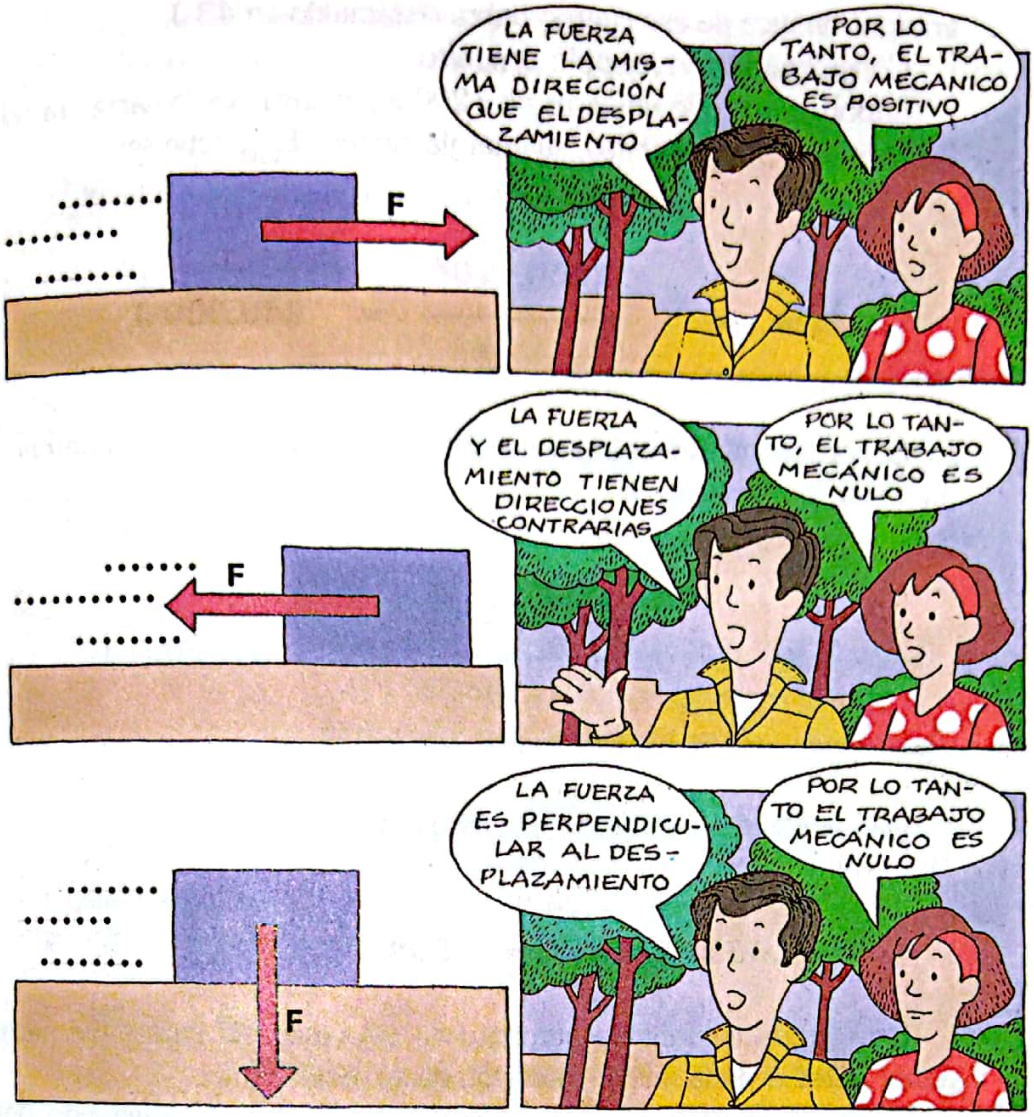
Si la fuerza y el desplazamiento tienen la misma dirección, entonces el trabajo mecánico efectuado por la fuerza es positivo.
En cambio, si la fuerza y el desplazamiento tienen direcciones contrarias, el trabajo mecánico efectuado por la fuerza es negativo.
Si la fuerza es perpendicular al desplazamiento, entonces el trabajo mecánico efectuado por ella es nulo.

Conviene recalcar que la unidad de trabajo mecánico es la misma que la unidad de energía: el joule.

De la defnición dada se desprende, además, la siguiente relación entre unidades:

Escaneado con CamScanner

Fig. 3.8



Relación entre el joule, el newton y el metro

$$1\ J = 1\ N.m$$

Relación entre trabajo mecánico y variación de energía cinética

El concepto de trabajo mecánico tiene una interesante propiedad que le confiere el derecho a ocupar un sitial importante en el estudio de la Mecánica.

Se trata del hecho de que el trabajo mecánico efectuado sobre un cuerpo es exactamente igual a la variación que experimenta la energía cinética del cuerpo.

Es decir, si la fuerza F efectúa sobre un cuerpo un trabajo mecánico de 48 J, entonces la energía cinética de ese cuerpo habrá aumentado en 48 J.

Si la fuerza F efectúa sobre un cuerpo un trabajo mecánico de -48 J, entonces la

Escaneado con CamScanner

energía cinética de ese cuerpo habrá disminuido en 48 J.

Consideremos un ejemplo concreto.

Supongamos que un carro de 1200 kg avanza por la carretera con una velocidad de 20 m/s. Según estos datos, su energía cinética E_{cin} debe ser:

$$E_{cin} = \frac{1200 \cdot 20^2}{2} = 240.000 \text{ J}$$

El conductor aumenta su velocidad hasta 25 m/s. La energía cinética del carro aumenta, por lo tanto, a:

$$E_{cin} = \frac{1200 \cdot 25^2}{2} = 375.000 \text{ J}$$

Esto implica una variación de energía de:

$$375.000 - 240.000 = 135.000 \text{ J}.$$

Para producir el citado aumento de velocidad del carro, fue necesario aplicar una fuerza sobre él en la misma dirección de su movimiento.

Como el vehículo estaba en movimiento, el trabajo efectuado por dicha fuerza es diferente de cero.

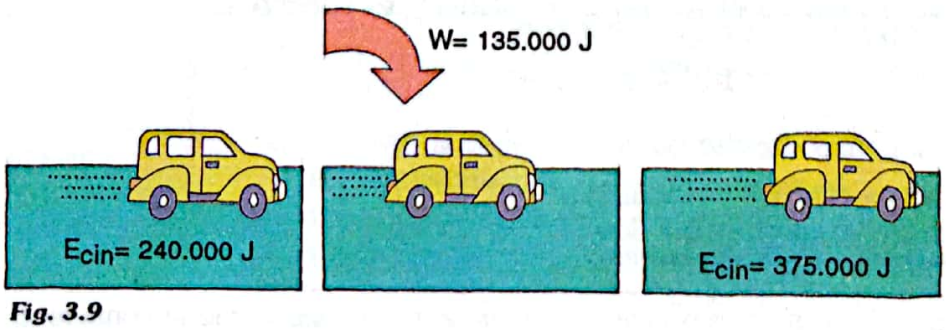


Fig. 3.9

Es más, de acuerdo con lo dicho más arriba, el trabajo mecánico efectuado por la fuerza que acelera al carro es exactamente igual a la variación que experimentó la energía cinética del carro.

Es decir, el trabajo mecánico efectuado por esa fuerza tuvo que ser de 135.000 J.

Supongamos, ahora, que el conductor, al acercarse a una curva, disminuye la velocidad a 12 m/s.

Según nuestros cálculos anteriores, la energía cinética era de 375.000 J.

Ahora será:

Escaneado con CamScanner

$$E_{cin} = \frac{1200 \cdot 12^2}{2} = 86.400 \text{ J}$$

La variación de energía cinética fue, entonces:

86.400 - 375.000 = -288.600 J

Por lo tanto, podremos inferir que la fuerza que frenó al carro efectuó sobre él un trabajo mecánico de -288.600 J.

El signo del trabajo es negativo. Sabemos que esto significa que la fuerza tuvo una dirección contraria al desplazamiento.

Podemos resumir lo anterior en las siguientes ecuaciones:

Relación entre trabajo mecánico y variación de energía cinética

Si una fuerza F efectúa un trabajo mecánico sobre un cuerpo, entonces su energía cinética Ecin experimenta una variación. Entre la variación de energía cinética ΔE_{cin} y el trabajo W realizado sobre el cuerpo existe la siguiente relación:

$$\Delta E_{cin} = W$$

siendo

$$\Delta E_{cin} = (Ecin)2 - (Ecin)1$$

En estas ecuaciones:

ΔE_{cin} representa la variación de energía cinética que experimenta el cuerpo

W representa el trabajo mecánico efectuado sobre el cuerpo,

$(E_{cin})^2$ representa la energía cinética final del cuerpo, y

$(E_{cin})^1$ representa la energía cinética inicial del cuerpo.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI), todas estas magnitudes se miden en J.

Un caso particular de interés se presenta cuando sobre el cuerpo actúa una fuerza en una dirección perpendicular al desplazamiento que experimenta el cuerpo.

Sabemos que, en este caso, el trabajo mecánico efectuado por la fuerza es cero.

Por lo tanto, también debe ser cero la variación de energía cinética del cuerpo. Es

Escaneado con CamScanner

decir, la energía cinética del cuerpo debe permanecer invariable, a pesar de la acción de dicha fuerza.

En otras palabras, una fuerza que actúa perpendicularmente a la dirección en que se mueve un cuerpo no puede producir ningún cambio en su energía cinética. O sea, no puede producir ningún cambio en su velocidad.

¿Qué sucede si sobre un cuerpo está actuando más de una fuerza?

Supongamos, a modo de ejemplo, que Mauricio está arrastrando un carrito con velocidad constante sobre una superficie horizontal.

Como la velocidad es constante, también lo es la energía cinética.

La variación de energía cinética es, por lo tanto, cero.

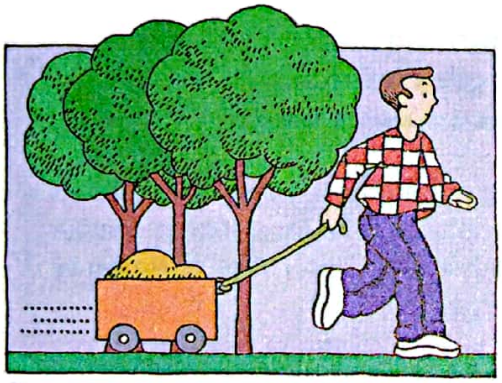


Fig. 3.10

De donde se desprende que el trabajo mecánico efectuado sobre el carrito es cero.

Pero sabemos que Mauricio está aplicando una fuerza en la dirección del desplazamiento del carrito.

Por lo tanto, está efectuando sobre el carrito un trabajo mecánico positivo diferente de cero.

Para que la energía cinética permanezca constante, entonces es necesario que otra fuerza esté actuando sobre el carrito en dirección contraria al desplazamiento y efectúe sobre él un trabajo negativo.

En este caso, dicha fuerza es el roce.

Un breve resumen de lo anterior

Es necesario que hagamos un breve alto para recapitular y sistematizar algunas propiedades esenciales del concepto de trabajo mecánico.

I) En primer lugar, recordemos que el trabajo mecánico está asociado a las variaciones que experimenta la energía cinética de un cuerpo.

El valor del trabajo mecánico coincide con el valor del aumento o disminución de la energía cinética.

De aquí surge su propiedad fundamental: el trabajo mecánico es una medida de la transferencia de energía, que tiene lugar cuando un cuerpo aumenta o disminuye su velocidad.

II) El trabajo mecánico está siempre asociado a una fuerza. Por eso, es conveniente hablar del "trabajo mecánico efectuado por tal o cual fuerza sobre tal o cual cuerpo".

Si la fuerza tiene la misma dirección que el desplazamiento, el trabajo mecánico efectuado por ella será positivo y la energía cinética del cuerpo aumenta.

En cambio, si la fuerza y el desplazamiento tienen direcciones opuestas, el trabajo mecánico efectuado por ella será negativo y la energía cinética del cuerpo disminuye.

Escaneado con CamScanner

Si la fuerza es perpendicular al desplazamiento, el trabajo mecánico que ella efectúa es nulo.

Actividades

1. Determina el trabajo mecánico que es necesario efectuar en cada uno de los siguientes casos:

a) Un automóvil de 900 kg, inicialmente detenido, se pone en movimiento alcanzando una velocidad de 20 m/s.

b) Un tren de 200 toneladas disminuye su velocidad de 35 m/s hasta 15 m/s al acercarse a una zona de curvas.

2. Para aumentar la energía cinética de un cuerpo se requiere efectuar sobre él un trabajo mecánico. Este trabajo mecánico será tanto mayor mientras mayor sea la fuerza aplicada y mientras mayor sea la distancia recorrida por el cuerpo durante el lapso de tiempo en el cual se aplicó la fuerza.

Supongamos que en una situación concreta la fuerza que podemos aplicar sobre un cuerpo es limitada. Entonces, para lograr una mayor energía cinética debemos tratar de que el cuerpo recorra la mayor distancia posible mientras esté aplicada la fuerza.

En las competencias atléticas, las técnicas de lanzamiento están basadas en este principio.

Analiza la forma en que se aplica dicho principio en cada una de las siguientes pruebas atléticas:

a) Lanzamiento de la bala

b) Lanzamiento del disco

c) Lanzamiento de la jabalina

d) Lanzamiento del martillo

3. Establece una relación entre el Principio de Inercia y la ecuación que relaciona el trabajo con la variación de energía cinética de un cuerpo.

4. a) Trata de saltar lo más alto posible con los pies juntos.

b) Repite el salto, pero esta vez sin agacharte para tomar impulso.

c) Basándote en lo que ha aprendido acerca del trabajo mecánico, explica por qué conviene agacharse para saltar más alto.

5. Un carro de 1000 kg viaja con una velocidad de 20 m/s. Si el conductor aprieta a fondo el pedal del freno, el carro alcanza a recorrer 40 m antes de detenerse totalmente. Pero si el carro choca de frente contra una muralla la distancia que recorre durante la brusca detención puede estimarse en 1 m.

a) Aplica la relación entre W y ΔE_{cin} para calcular el valor de la fuerza que detiene al carro en cada caso.

b) ¿Qué comentarios podrías formular respecto a los resultados obtenidos?

6. Óscar ha olvidado su llavero. Desde la ventana del departamento en el 4º piso, Andrea le lanza el llavero que Óscar alcanza a coger diestramente antes de que caiga al suelo

a) ¿Qué le conviene hacer a Óscar en este caso para que el golpe del llavero en su

Escaneado con CamScanner

mano no resulte doloroso?

b) Menciona otros ejemplos prácticos en que se emplea un procedimiento similar para amortiguar un golpe.

LA ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA

Unos pocos ejemplos para comenzar

Hemos dicho anteriormente que la energía mecánica puede presentarse bajo la forma de energía cinética o bajo la forma de energía potencial.

En realidad, existen varios tipos de energía potencial. Analizaremos por el momento sólo uno de ellos: la energía potencial que posee un cuerpo que se encuentra bajo la influencia de la acción gravitatoria de la Tierra.

Consideremos un par de ejemplos.

Ejemplo 1

Si lanzamos un objeto verticalmente hacia arriba, observamos que, a medida que sube, la energía cinética va disminuyendo paulatinamente hasta hacerse cero en el punto más alto de la trayectoria.

Durante el descenso, en cambio, la energía cinética aumenta hasta alcanzar su máximo valor en el momento de chocar contra el suelo.

Estas variaciones de energía cinética se explican por el trabajo mecánico realizado por el peso del cuerpo durante el movimiento del objeto.

En efecto. Sabemos que el peso actúa siempre hacia abajo.

Por lo tanto, durante el ascenso, el peso y el desplazamiento del cuerpo tienen direcciones contrarias. El trabajo mecánico realizado por el peso será negativo. Lo que implica una disminución de la energía cinética. Y esto es precisamente lo que sucede.

Durante el descenso, el peso y el desplazamiento del cuerpo tienen la misma dirección. El trabajo mecánico realizado por el peso será positivo. Lo que implica que la energía cinética debe aumentar. Y una vez más, esto es lo que sucede.

Fig. 3.11

Podemos interpretar la misma situación en una forma diferente.

Podemos pensar que, durante el ascenso, se produce una transformación de energía cinética en energía potencial. Al llegar al punto más alto, la velocidad del cuerpo se hace cero. Su energía cinética, por lo tanto, es también cero. Es decir, toda la energía cinética se ha transformado en energía potencial.

Durante el descenso, en cambio, se produce el proceso inverso: la energía potencial que tenía el cuerpo se va transformando en energía cinética. Al llegar al suelo, el cuerpo ha alcanzado su máxima velocidad. Es decir, su energía cinética es máxima, en tanto que su energía potencial es mínima.

Escaneado con CamScanner

Ejemplo 2

De igual forma, para colocar sobre una mesa una maleta que está en el suelo, necesitamos entregarle energía. Esta energía es almacenada en la forma de energía potencial.

Al bajar la maleta, la energía potencial almacenada debe ser transformada en energía cinética o transferida a otro cuerpo.

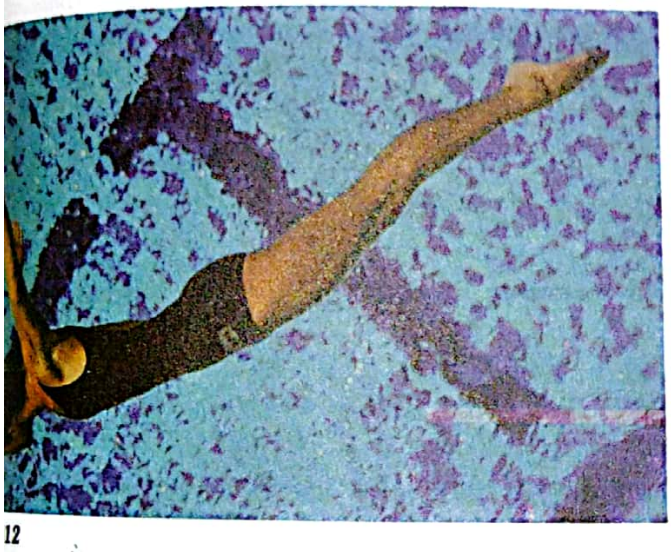
En términos generales, podemos decir que, si un cuerpo se aleja del centro de la Tierra, su energía potencial gravitatoria aumenta.

En cambio, al disminuir la distancia al centro de la Tierra, la energía potencial gravitatoria del cuerpo disminuye.

Consideremos dos nuevos ejemplos.

Ejemplo 3

Una campeona de natación sube hasta el trampolín situado a una altura de 3 m. Al hacerlo, su distancia al centro de la Tierra ha aumentado. Por lo tanto, allá arriba tendrá una energía potencial gravitatoria mayor que la que tenía abajo. Este aumento de energía se llevó a cabo a costa de un consumo de energía química en sus músculos.



12

Ahora, nuestra nadadora efectúa un hermoso salto ornamental. A medida que baja, su distancia al centro de la Tierra disminuye. Por lo tanto, su energía potencial gravitatoria también disminuye.

¿Está desapareciendo energía? Por supuesto que no. Durante el descenso su velocidad aumenta cada vez más. Es decir, la energía potencial que tenía allá arriba en el trampolín se convierte, durante la caída, en energía cinética.

Al entrar en el agua, su velocidad disminuye. La energía cinética se convierte en energía interna, con lo cual el agua de la piscina experimenta un leve aumento de temperatura.

Ejemplo 4

El consumo de combustible de un camión en una cuesta es mayor durante la subida que durante la bajada. Ello se debe a que al ir subiendo, su energía potencial va aumentando. El aumento de consumo de gasolina permite proporcionar al camión este incremento de energía potencial.

Durante la bajada, en cambio, la energía potencial disminuye. La diferencia debe ir a alguna parte. Se observa, entonces, la tendencia a transformar la energía potencial en energía cinética, es decir, la velocidad tiende a aumentar.

Durante la subida, el problema fue proporcionar al camión la energía necesaria, ya que su energía potencial tenía que aumentar. Durante la baja-

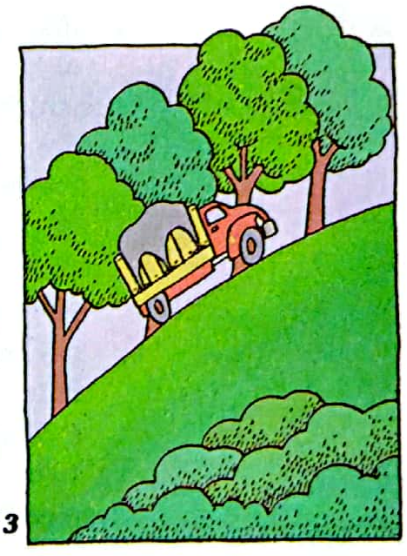


Fig. 3.13

Escaneado con CamScanner

da, el problema es lograr que el camión devuelva esa energía en una forma adecuada, evitando eventuales accidentes.

Una propiedad importante de la energía potencial

Conviene mencionar aquí una propiedad importante de la energía potencial gravitatoria y que resulta ser una propiedad común a todas las energías potenciales.

Hemos visto que si un cuerpo se mueve dentro del campo gravitatorio de la Tierra su energía potencial varía. Ahora bien: la variación de energía potencial que experimente el cuerpo sólo dependerá de su posición inicial y de su posición final.

Es decir, los cambios de energía potencial no dependen de cuál haya sido la trayectoria seguida por el cuerpo para llegar hasta su posición final.

Esta propiedad de la energía potencial permite concentrar la atención únicamente en la situación final y en la situación inicial y despreocuparnos totalmente de lo que haya ocurrido entremedio, el cual puede simplificar enormemente el problema que estemos considerando.

Una ecuación para calcular la energía potencial gravitatoria

¿Cómo podríamos calcular la energía potencial de un cuerpo?

En verdad, la respuesta a esta pregunta es bastante simple.

Para llegar a ella, conviene partir de un ejemplo concreto.

Supongamos que María Eliana toma una maleta desde el suelo y la eleva hasta colocarla sobre una mesa.

La masa de la maleta es de 25 kg. La mesa tiene una altura de 0.80 m.

Supongamos, además, que el movimiento se realiza con velocidad constante.

Ya tenemos toda la información que necesitamos. Ahora, tratemos de combinar esta información de modo de obtener una idea lo más clara posible.

a) La masa de la maleta es de 25 kg. Para calcular su peso, basta multiplicar por la aceleración de gravedad.

Para simplificar los cálculos, consideraremos que $g = 10\ m/s^2$.

Por lo tanto, el peso de la maleta resulta ser:

$$P = m \cdot g$$
$$= 25 \cdot 10$$
$$= 250\ N$$

b) Como la velocidad de la maleta es constante, no hay variación de energía cinética.

El trabajo mecánico efectuado sobre la maleta debe ser, por lo tanto, cero.

c) Durante el movimiento, la fuerza que ejerce María Eliana sobre la maleta efectúa un trabajo mecánico positivo, puesto que esta fuerza tiene la misma dirección que el desplazamiento.

Escaneado con CamScanner

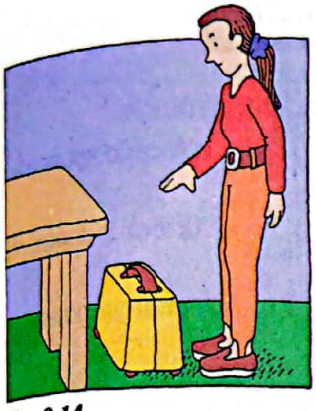


Fig. 3.14

Este trabajo mecánico se calcula fácilmente:

$$W = F \cdot d$$
$$= 250 \cdot 0.8$$
$$= 200 \text{ J.}$$

d) El trabajo mecánico positivo efectuado por María Eliana sobre la maleta significó una transferencia de energía hacia la maleta.

Como no hay aumento de energía cinética, podemos suponer que toda esta energía quedó almacenada en forma de energía potencial.

La energía potencial de la maleta cuando está a una altura de 0,8 m es, entonces, 200 J.

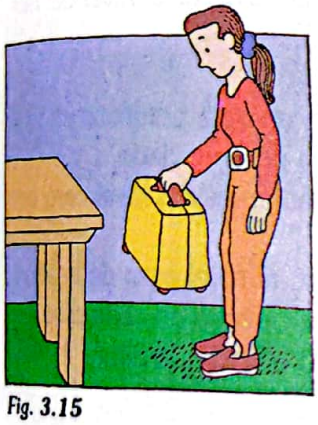


Fig. 3.15

e) Recapitulando, podemos decir que para calcular la energía potencial de un cuerpo de peso P situado a una altura h basta multiplicar su peso P por la altura h a la que está situado.

Por su parte, el peso es igual a:

$$P = m \cdot g$$

Obtenemos, así, la ecuación siguiente:

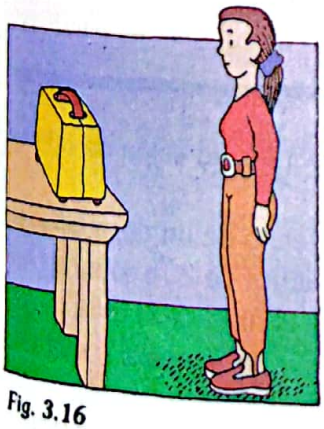


Fig. 3.16

Ecuación para el cálculo de la energía potencial gravitatoria

La energía potencial gravitatoria que posee un cuerpo de masa m que está situado a una altura h se puede calcular mediante la ecuación:

Epot = m g h ,

En esta ecuación:

Epot es la energía potencial gravitatoria del cuerpo,
m es su masa,
g es la aceleración de gravedad del lugar, y
h es la altura a que se encuentra el cuerpo.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI):

Ep se mide en «J» ,
m se mide en «kg» ,
g se mide en «m/s2» , y
h se mide en «m» .

Escaneado con CamScanner

El nivel cero de la energía potencial gravitatoria

En la ecuación recién dada, la altura h introduce una cierta indeterminación.

Consideremos, a modo de ejemplo, el caso de un libro de 1.2 kg colocado sobre una mesa que tiene una altura de 0.8 m.

Si medimos la altura h a partir de la mesa, tendremos que h = 0. Por lo tanto, E pot = 0 .

Pero si medimos h a partir del suelo, tendremos h = 0,8 m. La energía potencial valdrá ahora:

E pot = 1,2 . 10 . 0,8 = 9,6 J.

Si, por otra parte, la mesa en cuestión se encuentra en una habitación del segundo piso de una casa, surgirá la duda de si la altura h debe medirse desde el piso de la habitación o desde el nivel de la calle. ¿O tal vez habría que considerar el nivel del mar como base para la medición de h ?

Felizmente, esta aparente confusión tiene un desenlace feliz.

En efecto, lo que tiene significado físico no es el valor de la energía potencial en tal o cual momento, sino las variaciones que ella experimenta en un proceso dado.

Y, para nuestra tranquilidad, estas variaciones son independientes del nivel cero que consideremos para medir la altura h . (Ver actividad 2).

Por tal razón, tenemos libertad para elegir, arbitrariamente, el nivel cero de la altura y fijar, con ello, el nivel cero de la energía potencial que más convenga en cada caso.

Si el cuerpo se encuentra situado por encima del nivel cero elegido, la altura h tendrá un valor positivo.

La energía potencial, por su parte, tendrá también un valor positivo.

En cambio, si el cuerpo se encuentra situado por debajo del nivel cero elegido, tanto la altura h como la energía potencial tendrán un valores negativos.

Actividades

1. Determina el trabajo mecánico que efectúa una grúa al levantar un cajón de 600 kg hasta una altura de 25 m.

2. Una lámpara, cuya masa es de 2.5 kg, cuelga desde el techo de un departamento situado en el 4 º piso de un edificio. La lámpara queda a una altura de 2 m sobre el piso del departamento, el cual, a su vez, se encuentra a 10 m sobre el nivel de la calle.

Por razones que se ignoran, se rompe el cable que sostenía la lámpara y ésta cae estrepitosamente al piso.

a) Determina la energía potencial de la lámpara antes de caer. Considera como nivel cero el nivel del piso del departamento.

b) Determina la energía potencial de la lámpara después de haberse estrellado contra el piso.

c) Determina la variación de energía potencial experimentada por la lámpara por efectos de su caída.

d) Repite los tres cálculos anteriores considerando como nivel cero el nivel de la calle.

Escaneado con CamScanner

e) Repite los cálculos, considerando ahora como nivel cero la posición inicial de la lámpara.

f) En el texto se afirma que la variación de energía potencial no depende del nivel cero elegido. ¿Tus cáclulos confirman o contradicen esta afirmación?

3. a) ¿En qué caso la energía potencial de un cuerpo será positiva?

b) ¿En qué caso la energía potencial de un cuerpo será negativa?

c) ¿En qué caso la variación de energía potencial de un cuerpo será positiva?

d) ¿En qué caso la variación de energía potencial de un cuerpo será negativa?

4. a) ¿Puede ser negativa la energía cinética de un cuerpo? Justifica tu respuesta.

b) ¿Puede ser negativa la variación de energía cinética de un cuerpo? Justifica tu respuesta.

5. a) ¿En cuánto aumenta tu energía potencial cuando subes desde la calle hasta el 20 º piso de un edificio, situado a una altura de 60 m ?

b) ¿De dónde proviene esa energía si realizas la hazaña de subir a pie?

c) ¿De dónde proviene la energía si subes cómodamente en ascensor?

6. Sobre la mesa hay una maceta con flores cuya masa es de 2 kg. Para las preguntas que siguen, considera como nivel cero de energía potencial el nivel de la mesa.

a) ¿Dónde habría que colocar la maceta para que su energía potencial sea 0 J?

b) ¿Dónde habría que colocar la maceta para que su energía potencial sea de 10 J?

c) ¿Dónde habría que colocar la maceta para que su energía potencial sea de -10 J?

7. Un atleta de 80 kg puede alcanzar una velocidad máxima de 12 m/s.

a) ¿Cuánto es su energía cinética a esa velocidad?

b) ¿Hasta qué altura llegaría si pudiera transformar toda esta energía cinética en energía potencial?

c) Compara el resultado obtenido con el record mundial en la prueba de salto con garrocha.

(Nota. En la prueba de salto con garrocha, la garrocha no proporciona energía al atleta. La energía que él necesita para alcanzar la altura correspondiente proviene de la energía cinética que ha acumulado en la carrera previa al salto y de energía química transformada en energía mecánica por sus músculos al darse impulso en el momento del salto. La garrocha sólo desempeña el papel de un instrumento que permite transformar energía cinética en energía potencial. El cálculo que has efectuado muestra que la garrocha es muy eficiente en este sentido).

8. Leopoldo considera que si tuviera una garrocha más larga que la usual, podría ganarle fácilmente al campeón olímpico. ¿Qué opinas tú al respecto?

9. Considera nuevamente el atleta de la actividad anterior.

Esta vez, él desea efectuar su salto con garrocha en la superficie de la Luna, donde la aceleración de gravedad es de sólo 1.6 m/s^2. Supongamos que allí también puede alcanzar una velocidad máxima de 12 m/s y que tiene a disposición garrochas de la longitud que él desee.

¿Crees tú que alcanzará una altura mayor, menor o igual a la que alcanza en la Tierra? Justifica tu respuesta.

Escaneado con CamScanner

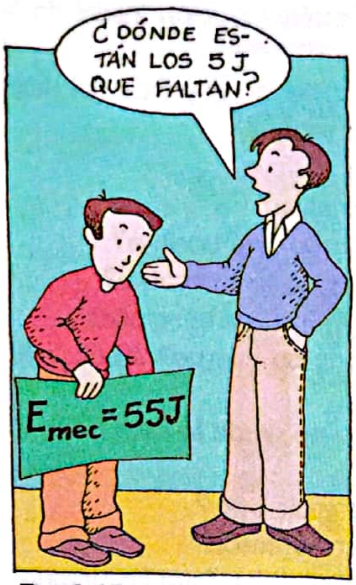


Fig. 3.17

TRANSFORMACIONES DE ENERGÍA CINÉTICA EN POTENCIAL Y VICEVERSA

La energía mecánica total

Ya hemos indicado que la propiedad más importante de la energía es que se conserva.

La energía que posee un cuerpo puede transformarse de un tipo en otro o puede ser transferida a otro cuerpo. Pero en toda transferencia o en toda transformación de energía, la cantidad total de energía permanece constante. Es la misma cantidad total al inicio del proceso que al final del mismo.

Consideremos el caso de un cuerpo que posee 20 J de energía cinética y 40 J de energía potencial.

Este cuerpo puede transformar parte de su energía cinética en energía potencial. En tal caso la disminución de energía cinética debe ser igual al aumento de la energía potencial, de modo que la suma de ambas se mantenga constante.

Supongamos, sin embargo, que después de un tiempo observamos que el cuerpo posee 10 J de energía cinética y 45 J de energía potencial. Ello significa que su energía cinética ha disminuido en 10 J, pero su energía potencial ha aumentado sólo en 5 J. La suma de ambas, que inicialmente era de 60 J , ahora es de sólo 55 J. Ha habido una pérdida de energía: han desaparecido 5 J.

Una consecuencia inmediata de la ley de conservación de la energía, aplicada en este caso, es que podemos predecir que esos 5 J tienen que haber sido transformados en otro tipo de energía –por ejemplo, en calor– o transferidos a otro cuerpo. Si buscamos adecuadamente, podremos encontrarlos.

Por el momento, estamos limitando nuestro análisis a la energía mecánica, la que puede presentarse bajo dos formas: energía cinética y energía potencial.

De acuerdo con el ejemplo que acabamos de mencionar, conviene discutir las posibilidades de transformar energía cinética en energía potencial o viceversa.

Antes de comenzar este análisis, conviene introducir una nueva definición.

A la suma de la energía cinética y la energía potencial que posee un cuerpo le daremos el nombre de energía mecánica total (Emec) o simplemente energía mecánica.

Es decir:

Definición de energía mecánica total

La energía mecánica total de un cuerpo es la suma de su energía cinética y su energía potencial:

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot}$$

En esta ecuación:
E_{mec} es la energía mecánica total del cuerpo,
E_{cin} es su energía cinética, y
E_{pot} es su energía potencial.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI) todas estas magnitudes se miden en J.

Escaneado con CamScanner

Transformaciones de energía cinética en potencial y viceversa

Al hablar de la energía potencial gravitatoria, subrayamos que la energía potencial que posee un cuerpo depende de su posición.

Así, por ejemplo, si un cuerpo se mueve hasta una posición más elevada, su energía potencial aumenta. Si el cuerpo desciende, su energía potencial disminuye.

En términos un poco más generales, si un objeto se aleja del centro de la Tierra, su energía potencial aumenta. Si se acerca, su energía potencial disminuye.

A su vez, la energía cinética depende de la velocidad del cuerpo.

Si la velocidad aumenta, la energía cinética aumenta. Si la velocidad disminuye, la energía cinética disminuye.

La transformación de energía cinética en potencial debe implicar, por lo tanto, que el cuerpo disminuye su velocidad al mismo tiempo que se aleja del centro de la Tierra.

Recíprocamente, en una transformación de energía potencial en cinética debe ocurrir el proceso inverso: aumenta la velocidad del cuerpo en tanto que disminuye su distancia al centro del planeta.

Veamos un ejemplo.

Ejemplo

Supongamos que alguien lanza verticalmente hacia arriba, desde una altura de 1 m, una piedra de 0,4 kg con una velocidad inicial de 10 m/s.

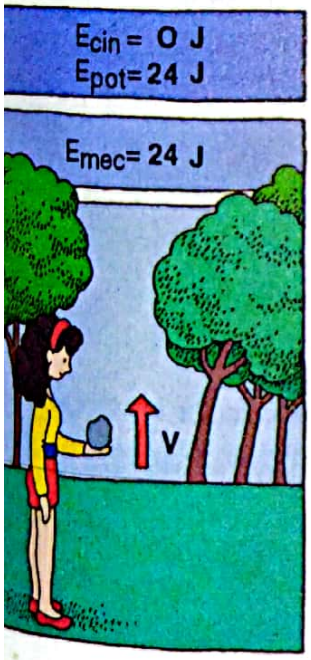
Tú ya sabes calcular el valor de la energía cinética y podrás comprobar fácilmente que, inicialmente, la energía cinética de la piedra era de 20 J.

Por su parte, la energía potencial inicial será 4 J.

De acuerdo a nuestra definición, la energía mecánica total inicial será:

$$\begin{aligned} E_{mec} &= E_{cin} + E_{pot} \\ &= 20 + 4 \\ &= 24 \text{ J}. \end{aligned}$$

Fig. 3.18



El objeto ha sido lanzado hacia arriba.

A medida que asciende, su energía potencial va en aumento, ya que aumenta la altura h.

Su energía cinética va disminuyendo, ya que la velocidad disminuye.

A medida que sube, por lo tanto, se va produciendo una transformación de energía cinética en energía potencial.

Supongamos que el movimiento se realiza sin pérdidas de energía mecánica.

En tal caso, la energía mecánica total se mantendrá constante en su valor de 24 J.

Esto permite formular una serie de predicciones acerca del movimiento del objeto. He aquí algunas.

- ¿Cuánto valen la energía cinética y la energía potencial cuando la piedra

Escaneado con CamScanner

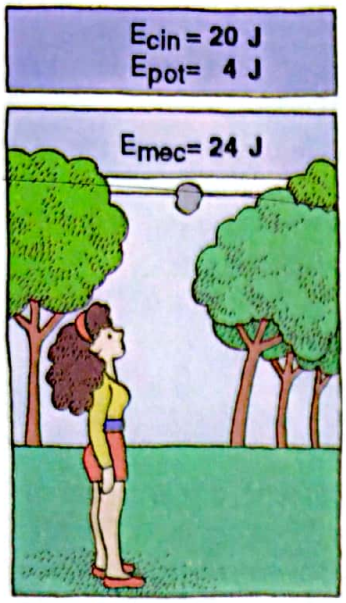


Fig. 3.19

llega a su punto más alto?

En ese punto, su velocidad es nula y , por lo tanto, la energía cinética es 0 J.

Para que la energía mecánica total siga siendo 24 J, es necesario que la energía potencial sea ahora de 24 J.

• ¿Cuánto es la máxima altura a la que llega la piedra?

Sabemos que, en ese punto, la energía potencial debe ser 24 J. Podemos escribir una ecuación:

$$\begin{aligned} Epot &= m \cdot g \cdot h \\ 24 &= 0.4 \cdot 10 \cdot h \\ 24 &= 4 \cdot h \end{aligned}$$

De donde se desprende que:

$$h = 6 \text{ m.}$$

En su punto más alto, la piedra se encuentra a una altura de 6 m.

• ¿Qué sucederá ahora?

El objeto empieza a descender. Con ello, disminuye su energía potencial. Y aumenta, por lo tanto, su energía cinética.

• ¿Podemos predecir con qué velocidad se estará moviendo cuando pase por un punto situado a una altura de 2.8 m ?

Por supuesto. En ese punto su energía potencial será:

$$\begin{aligned} Epot &= m \cdot g \cdot h \\ &= 0.4 \cdot 10 \cdot 2.8 \\ &= 11.2 \text{ J.} \end{aligned}$$

Fig. 3.20

La energía mecánica total debe mantener su valor de 24 J.

Por lo tanto, debe darse que:

$$\begin{aligned} Emec &= Ecin + Epot \\ 24 &= Ecin + 11.2 \end{aligned}$$

Es decir:

$$Ecin = 2.8 \text{ J.}$$

Conocemos la energía cinética. Ahora podremos calcular la velocidad que debe tener la piedra para poder tener esa energía cinética:

$$Ecin = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Escaneado con CamScanner

$$12{,}8 = \frac{0{,}4 \cdot v^2}{2}$$

Resolviendo esta ecuación, se concluye que

$$v^2 = 64$$

y, por lo tanto:

$$v = 8 \text{ m/s}.$$

De modo que la piedra pasa con una velocidad de 8 m/s por el punto situado a una altura de 1.8 m.

• ¿Con qué velocidad vuelve al punto de lanzamiento?

Eso resulta sencillo. Allí la energía potencial vuelve a ser 4 J y, por lo tanto, la energía cinética debe volver a su valor inicial para que la energía mecánica total se mantenga constante.

En otras palabras, la piedra llega al suelo con una velocidad de 10 m/s.

Varias formas diferentes de decir lo mismo

En el ejemplo que acabamos de analizar se ha partido del hecho de que la energía mecánica total del cuerpo se mantiene constante durante todo el movimiento.

Usando la simbología matemática, esto puede expresarse así:

Ecuación (1)

$$E_{mec} = \text{constante}$$

Esta expresión es una forma breve y compacta de decir que la magnitud Emec mantendrá su valor, sin que se produzcan aumentos ni disminuciones.

Dado que la energía mecánica total es igual a la suma de la energía cinética y la energía potencial, la ecuación anterior puede escribirse de la siguiente manera:

Ecuación (2)

$$E_{cin} + E_{pot} = \text{constante}$$

Escaneado con CamScanner

Aunque el contenido de esta ecuación es el mismo que el de la ecuación (1), al darle una forma diferente estamos variando el aspecto que queremos enfatizar.

Esta vez, estamos subrayando el hecho de que tanto la energía cinética como la energía potencial pueden experimentar variaciones, pero de tal menera que su suma se mantenga constante.

Para que esto suceda, se requiere que todo eventual aumento de la energía cinética deberá ser compensada por una correspondiente disminución de la energía potencial. O, viceversa, cualquiera disminución de la energía cinética deberá ser compensado por un correspondiente aumento de la energía potencial.

En otros términos, si hay una variación ΔEcin de la energía cinética, deberá haber una variación ΔEpot de la energía potencial de igual magnitud, pero de signo contrario.

Esto último puede ser dicho mediante una ecuación:

Ecuación (3)

$$\Delta E_{cin} = \Delta E_{cin}$$

Esta ecuación no dice nada nuevo, en relación con las dos anteriores. Pero muestran una nueva faceta del mismo proceso.

Nuestro énfasis está ahora en la relación que existe entre las variaciones que puedan experimentar la energía cinética y la energía potencial.

Otra forma de decir que una cierta magnitud se mantiene constante es afirmar que su valor en un instante 1 es igual a su valor en otro instante 2 cualquiera.

Lo cual también puede expresarse mediante una ecuación:

Ecuación (4)

$$(Emec)1 = (Emec)2$$

En esta ecuación:

(Emec)1 representa la energía mecánica total de un cuerpo en un instante,

y

(Emec)2 representa su energía mecánica total en otro instante cualquiera.

Si tomamos en cuenta que la energía mecánica total es la suma de la energía cinética y la energía potencial, la ecuación (4) podrá escribirse como sigue:

Escaneado con CamScanner

Ecuación (5)

$$(E_{in})_1 + (E_{pot})_1 = (E_{in})_2 + (E_{pot})_2$$

En esta ecuación:
$(E_{in})_1$ y $(E_{pot})_1$ representan, respectivamente, la energía cinética y la energía potencial de un cuerpo en un cierto instante, y
$(E_{in})_2$ y $(E_{pot})_2$ representan la energía cinética y la energía potencial del mismo cuerpo en otro instante cualquiera.

Finalmente, tú no tendrás dificultad en interpretar esta nueva ecuación:

Ecuación (6)

$$(E_{in})_2 - (E_{in})_1 = -\{(E_{pot})_2 - (E_{pot})_1\}$$

En esta ecuación:
$(E_{in})_1$ y $(E_{pot})_1$ representan, respectivamente, la energía cinética y la energía potencial de un cuerpo en un cierto instante, y
$(E_{in})_2$ y $(E_{pot})_2$ representan la energía cinética y la energía potencial del mismo cuerpo en otro instante cualquiera.

Tal como ya hemos dicho, el contenido de todas estas ecuaciones es el mismo: todas ellas se refieren al hecho de que, bajo ciertas condiciones, la energía mecánica total de un cuerpo se mantiene constante.

Cada una de las ecuaciones, sin embargo, subraya un aspecto algo diferente de la situación.

Llegar a entender e interpretar las ecuaciones matemáticas es un objetivo de primera importancia en el aprendizaje de las ciencias.

Esperamos que esta breve visita al lenguaje matemático te haya resultado interesante. A medida que te internes en el mundo del conocimiento físico, irás familiarizándote cada vez más con este lenguaje y tendrás oportunidad de valorar su inagotable riqueza.

¿Bajo qué condiciones se mantiene constante la energía mecánica total?

Conviene recordar que la energía mecánica total de un cuerpo no siempre se mantiene constante.

Supongamos que Ignacio toma un libro de 0.2 kg que encuentra en el piso y lo colo-

Escaneado con CamScanner

ca sobre el ecritorio, cuya altura es de 0.75 m.

El libro se encontraba inicialmente en reposo a una altura cero. Por lo tanto, su energía cinética y su energía potencial eran cero y, consecuentemente, su energía mecánica total también era cero.

Sobre el escritorio, la energía cinética continúa siendo cero, pero la energía potencial ha variado. Ahora es igual a:

$$\begin{aligned} E_{pot} &= m \cdot g \cdot h \\ &= 0.2 \cdot 10 \cdot 0.75 \\ &= 1.5\ J. \end{aligned}$$

Por lo tanto, también ha variado la energía mecánica total. Su valor es ahora:

$$\begin{aligned} E_{mec} &= E_{cin} + E_{pot} \\ &= 0 + 1.5 \\ &= 1.5\ J. \end{aligned}$$

De modo que, en este caso, la energía mecánica total del libro no ha permanecido constante: ha aumentado de cero a 1.5 J.

Esto plantea la interrogante siguiente: ¿Bajo qué condiciones la energía mecánica total de un cuerpo permanece efectivamente constante?

La respuesta es simple.

La energía mecáncia del cuerpo constante, si el cuerpo no recibe energía de otros cuerpos ni entrega energía a otros cuerpos.

A continuación, se mencionan dos casos concretos en los que se cumple esta condición. Es decir, casos en los que no hay transferencia de energía mecánica desde ni hacia el cuerpo.

Caso A

La única fuerza que actúa sobre el cuerpo durante su movimiento es su propio peso.

En especial, se requiere que la fuerza de roce sea despreciable.

En estas condiciones, no hay ninguna fuerza externa que pueda efectuar un trabajo positivo ni negativo sobre el cuerpo.

Fig. 3.21

Por lo tanto, si la única fuerza que actúa sobre el cuerpo durante su movimiento es su propio peso, la energía mecánica total se mantendrá constante.

Caso B

Sobre el cuerpo actúan fuerzas externas, pero éstas son siempre perpendiculares al desplazamiento.

Un péndulo es un ejemplo de este caso. Allí, además del peso, actúa la fuerza que ejerce el hilo del péndulo. Pero esta fuerza es siempre perpendicular a la dirección en que

Escaneado con CamScanner

Fig. 3.22

se produce el movimiento.

Ya sabemos que una fuerza perpendicular al desplazamiento no efectúa trabajo mecánico sobre el cuerpo. Por lo tanto, no puede entregarle ni quitarle energía mecánica.

De acuerdo con esto, si las fuerzas que actúan sobre el cuerpo se mantienen siempre perpendiculares al desplazamiento, la energía mecánica total del cuerpo se mantendrá constante.

En resumen:
Si un objeto no recibe energía mecánica de su entorno ni entrega energía mecánica a su entorno, entonces su energía mecánica total se mantendrá constante.

Bajo tales condiciones, son válidas las seis ecuaciones dadas anteriormente.

Podemos dar a esta afirmación el nombre de Ley de Conservación de la Energía Mecánica, que constituye un caso especial, restringido, de la Ley de Conservación de la Energía.

Ley de Conservación de la Energía Mecánica

Si un objeto no recibe energía mecánica de su entorno ni entrega energía mecánica a su entorno, entonces su energía mecánica total se mantendrá constante.

Actividades

1. Considera la siguiente situación. Desde una altura de 25 m, Hernán lanza verticalmente hacia arriba un proyectil de 0.2 kg de masa con una velocidad inicial de 20 m/s.

a) ¿Es posible determinar la energía cinética inicial del proyectil?

Escaneado con CamScanner

b) ¿Es posible determinar su energía potencial inicial?

c) ¿Es posible determinar su energía mecánica total inicial del proyectil?

d) ¿Qué sucede con la energía cinética, con la energía potencial y con la energía mecánica total del proyectil durante su movimiento ascendente?

e) ¿Qué sucede con la energía cinética, con la energía potencial y con la energía mecánica total del proyectil durante su movimiento de descenso?

f) Al caer a tierra, el proyectil queda incrustado en ella a 2 cm de la supericie. ¿Cuánto vale la energía cinética, la energía potencial y la energía mecánica total del proyectil después del choque con el suelo?

g) ¿Por qué no se mantuvo constante la energía mecánica durante el choque contra el suelo?

2. Desde un mismo punto se lanzan tres objetos de igual masa y con igual velocidad inicial. Uno de ellos se lanza verticalmente hacia arriba, el segundo se lanza horizontalmente y el tercero se lanza verticalmente hacia abajo. ¿Cuál de ellos llega al suelo con mayor velocidad? Justifica tu respuesta, basándote en la ley de conservación de la energía mecánica.

3. Se lanza un cuerpo verticalmente hacia arriba con una velocidad v, de modo que alcanza una altura máxima de 3 m. ¿Hasta qué altura crees que llegará el cuerpo si es lanzado con una velocidad $2v$?

4. La presente actividad está basada en valores reales. Te recomendamos utilizar una calculadora.

En la prueba atlética de lanzamiento de la bala para varones, la bala es una esfera metálica de 7.257 kg. Para alcanzar una distancia de 22 m, lo que constituye una marca de nivel internacional, debe lanzarse la bala con una velocidad inicial de aproximadamente 14.2 m/s en una dirección que forma un ángulo de unos $40°$ con la horizontal. Se puede estimar que el punto de lanzamiento se encuentra a una altura de 2,1 m. La máxima altura que alcanza la bala en su movimiento es de unos 6.2 m. A partir de estos datos, y utilizando las ecuaciones que hemos conocido, determina:

a) la energía mecánica total en el instante de lanzamiento,

b) la energía cinética de la bala en el punto más alto de la trayectoria,

c) la energía cinética con que la bala choca contra el suelo.

d) la velocidad de la bala en el punto más alto de la trayectoria,

e) la velocidad con que la bala choca contra el suelo.

INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE POTENCIA

Mensualmente llega a cada hogar la cuenta correspondiente al consumo de energía eléctrica.

A veces, el monto a pagar resulta una desagradable sorpresa.

¿De qué factores depende la cantidad de energía eléctrica consumida por un determinado artefacto? ¿Es posible determinar previamente cuánto costará mantener en funcionamiento una estufa o una plancha? ¿Cuál es la forma más efectiva de ahorrar energía eléctrica?

La discusión de estos problemas nos permitirá introducir el concepto de potencia, un

Escaneado con CamScanner

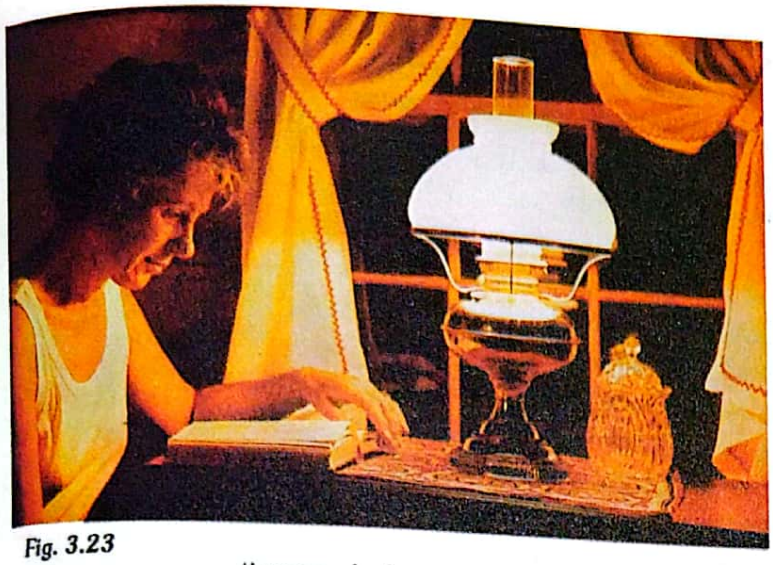


Fig. 3.23

concepto estrechamente relacionado con el concepto de energía, y con los procesos de transferencias y transformaciones de energía.

Factores que influyen en la cantidad de energía consumida

Resulta claro que la cantidad de energía eléctrica que consume un artefacto cualquiera dependerá directamente del tiempo durante el cual esté funcionando: mientras mayor el tiempo de funcionamiento, mayor será el consumo total de energía.

Por otra parte, también influye la rapidez con que el artefacto eléctrico consume energía.

Una lámpara de 100 W ilumina mucho más que una de 25 W. Podemos esperar, entonces, que la energía que consume la primera lámpara aumente mucho más rápidamente. Si ambas han estado encendidas durante media hora, la primera habrá consumido en ese tiempo más energía que la segunda.

De igual forma, una estufa eléctrica consume energía más rápidamente que un televisor.

El concepto de potencia

Para tener una medida de la rapidez con que un artefacto consume energía se ha introducido una magnitud física: la potencia.

El concepto de potencia resulta ser de gran utilidad en el análisis de cualquier proceso de transformación o transferencia de energía.

Fig. 3.24

La potencia no indica la cantidad total de energía que un artefacto consume, sino que mide la rapidez con que ese artefacto está consumiendo energía.

En otras palabras, la potencia de un artefacto indica la cantidad de energía que dicho artefacto consume en cada unidad de tiempo.

De igual forma, la potencia de una línea de transmisión indica la cantidad de energía que la línea transmite en cada unidad de tiempo.

La potencia de un motor de automóvil indica la cantidad de energía mecánica que el motor entrega al carro en cada unidad de tiempo.

Podemos definir potencia con ayuda de una ecuación matemática:(ver cuadro siguiente página).

Tal como se indica en el recuadro, la unidad de potencia en el Sistema Internacional es el "watt" (símbolo: "W").

Escaneado con CamScanner

Definición de potencia

La potencia desarrollada en un proceso de transformación o de transferencia de energía está dada por el cociente:

$$P = \frac{E}{t}$$

En esta ecuación:

P representa la potencia desarrollada en el proceso,

E representa la energía transformada o transferida en un cierto intervalo de tiempo, y

t representa la duración de dicho intervalo.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI),

P se mide en W,

E se mide en J, y

t se mide en s.

El nombre de esta unidad es un homenaje al mecánico inglés James Watt (1736-1819), quien creó la primera máquina a vapor aplicable a procesos industriales.

Entre el joule y el watt existe una relación que se desprende de la propia definición de potencia:

Relación entre las unidades joule y watt

$$1\ W = 1\ \frac{J}{s}$$

Con frecuencia se utiliza en la práctica un múltiplo del watt: el "kilowatt" (símbolo: kW).

Como tú sabes, el prefijo kilo indica que la unidad respectiva ha sido multiplicada por 1.000. De modo que entre el watt y el kilowatt existe la relación:

1 kW = 1.000 W.

La potencia eléctrica de un artefacto es 1 W si, al estar funcionando, consume energía a razón de 1 J/s. Es decir, si en cada segundo de funcionamiento consume 1 J.

De acuerdo con esto, una lámpara de 60 W consume energía a razón de 60 J/s, o sea 60 J en cada segundo.

Escaneado con CamScanner

Fig. 3.25

Fig. 3.26

Fig. 3.27

A su vez, una estufa de 2 kW de potencia consume energía a razón de 2 000 J/s.

Supongamos que una lámpara de 75 W ha estado encendida durante 10 minutos.

Con esta información, resulta muy simple determinar la cantidad total de energía eléctrica consumida por ella.

En efecto, sabemos que la potencia es 75 W. Esto equivale a decir que la lámpara consume 75 J en cada segundo.

Se sabe, además, que ha estado encendida durante 10 minutos, es decir, durante un total de 600 s .

El consumo total de energía será, por lo tanto:

$75 \cdot 600 = 4.500$ J .

El ejemplo permite ver que, para calcular la energía consumida, basta multiplicar la potencia por el tiempo de funcionamiento.

Este hecho es, por supuesto, una consecuencia directa de la definción de potencia.

Puede expresarse simbólicamente mediante una ecuación matemática:

Determinación de la energía involucrada en un proceso, a partir de la potencia

La energía consumida, transformada o transferida durante un proceso de transformación o de transferencia de energía está dada por el producto:

$E = P \cdot t$,

En esta ecuación:

E representa la energía consumida, transformada o transferida en un proceso,

P representa la potencia desarrollada en dicho proceso, y

t representa el tiempo que dura el proceso.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI),

E se mide en J ,

P se mide en W , y

t se mide en s .

Escaneado con CamScanner

El "kilowatt hora"

Siguiendo nuestra costumbre, en el recuadro hemos dado las unidades correspondientes al Sistema Internacional.

Otra posibilidad, muy común en la práctica, consiste en expresar la potencia en kW y el tiempo en horas. En tal caso, sin embargo, no podemos utilizar el J como unidad de energía.

La unidad de energía que resulta al expresar la potencia en kW y el tiempo en horas recibe el nombre de kilowatt hora (símbolo: kW h).

¡Atención!

El "kilowatt" es una unidad de potencia.
En cambio, el "kilowatt hora" es una unidad de energía.

Fig. 3.28

Para encontrar la equivalencia entre el joule y el kilowatt hora, podemos razonar como sigue:

Consideremos un artefacto de 1 kW de potencia que funciona durante 1 h.

La energía consumida, expresada en kW h, se obtiene multiplicando la potencia en kW por el tiempo en h:

$$E = P \cdot t$$
$$= 1\ kW \cdot 1\ h$$
$$= 1\ kW\,h$$

Esta misma energía, expresada ahora en J, se obtiene multiplicando la potencia en W por el tiempo en s.

Para ello, tenemos que utilizar las equivalencias:

$1\ kW = 1.000\ W$
$1\ h = 3.600\ s$

Tendremos, por lo tanto:

$$E = P \cdot t$$
$$= 1.000\ W \cdot 3.600\ s$$
$$= 3.600.000\ J$$

Dado que nos estamos refiriendo a la misma cantidad de energía, podemos establecer la equivalencia:

Equivalencia entre el kilowatt hora y el joule

1 kW h = 3.600.000 J

Escaneado con CamScanner

Como vemos, el kW h es una unidad mucho mayor que el J.
1 kW h es más de tres millones y medio de J.

Otra unidad de potencia

En diversos campos industriales se usa el HP como unidad de potencia.

HP es la abreviatura de la expresión inglesa horsepower, que a veces se traduce –equivocadamente– como caballo de fuerza.

Mucho más acertado, tanto desde el punto de vista lingüístico como desde el punto de vista físico, sería traducir horsepower como potencia de un caballo.

El HP fue introducido por James Watt y corresponde a la potencia que puede desarrollar un caballo, de acuerdo a mediciones efectuadas por el propio Watt.

Actualmente, la equivalencia entre el HP y el watt es la siguiente:

Equivalencia entre el HP y el watt

1 HP = 746 W

Actividades

1. Basándote en la información dada en la boleta de cobro de energía eléctrica en tu casa, determina cuánto cobra la Compañía de Electricidad por cada "kW h" de energía eléctrica consumida.

2. Alejandro ha comprado una nueva estufa eléctrica de 2 kW de potencia. Para protegerse del frío invierno, proyecta mantenerla encendida dos horas diarias en promedio.

a) ¿Cuánto será el consumo mensual de energía de la estufa?

b) ¿Cuánto es el costo en dinero?

3. (a) Haz un cálculo aproximado de la cantidad de energía eléctrica que se gasta en tu casa sólo en iluminación.

b) Propón algunas medidas que podría tomar tu familia para disminuir el consumo de energía eléctrica sin que ello afecte mayormente al bienestar familiar.

4. Algunas estufas eléctricas tienen dos posiciones: alta (2 kW h) y baja (1 kW h).

Felipe opina que si se mantiene la estufa encendida en posición baja durante 10 horas, el consumo de energía eléctrica será el mismo que si se mantiene encendida en posición alta durante sólo 5 horas.

Esteban opina que, independientemente de cuánto tiempo esté encendida la estufa, en la posición "alta" la potencia consumida será mayor que en la posición "baja".

a) ¿Tiene razón Felipe?

b) ¿Tiene razón Esteban?

c) ¿Son contradictorias ambas opiniones?

Escaneado con CamScanner

MÁQUINAS SIMPLES QUE FACILITAN LA VIDA

El ser humano pone en juego su fuerza muscular para modificar el mundo que le rodea en función de sus necesidades.

Sin embargo, esta fuerza es generalmente demasiado pequeña para cumplir las tareas que se propone.

Por esta razón, siempre se ha esforzado por multiplicar de una u otra manera su fuerza muscular.

El problema se plantea en estos términos: si para realizar una determinada labor se requiere una determinada fuerza, ¿es posible efectuar esa misma labor aplicando una fuerza diferente?

La respuesta a esta pregunta es afirmativa.

Efectivamente, la Naturaleza permite modificar ya sea el punto de aplicación, la dirección o la magnitud de la fuerza que se necesita para efectuar una tarea dada.

Así, por ejemplo, para elevar un cajón de 2 000 N de peso se necesita aplicar directamente sobre él una fuerza de 2 000 N hacia arriba.

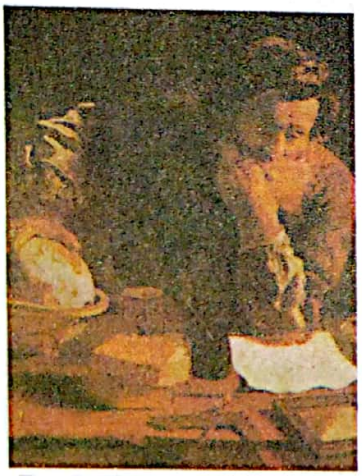


Fig. 3.29

Sin embargo, es posible construir dispositivos que permiten elevar el cajón aplicando en otro lugar una fuerza menor o una fuerza en una dirección diferente.

Para ello, basta hacer uso, por ejemplo, de una palanca o de un juego de poleas.

Desde hace varios milenios, los pueblos han aprendido a construir y a hacer uso de este tipo de dispositivos.

A lo largo de los siglos, nuevos conocimientos han ido modificando y perfeccionando estos sistemas mecánicos. En varios casos, sin embargo, continuamos aplicando los mismos principios que aplicaron los egipcios, los griegos o los aztecas.

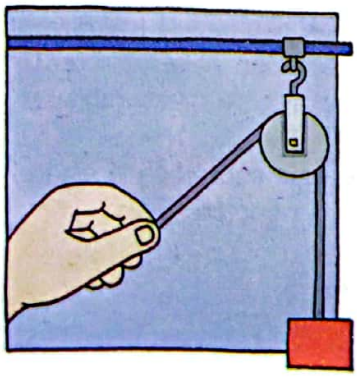
Arquímedes -el más importante científico de la Antigüedad- fue el primero que estudió y describió algunas máquinas y dispositivos simples destinados a transformar fuerzas.

Él descubrió la ley que rige el comportamiento de las palancas.

Se cuenta que, entusiasmado con su decubrimiento, habría exclamado: "¡Dadme un punto de apoyo y levantaré al mundo!".

Con ello quería ilustrar las enormes posibilidades de las palancas para multiplicar nuestras fuerzas.

Fig. 3.30



Una cuerda y una polea

Uno de los dispositivos más simples es la cuerda.

La cuerda transmite la fuerza a lo largo de ella, de modo que es posible ejercer una fuerza a distancia, es decir, permite cambiar el lugar en el cual aplicamos la fuerza.

La cuerda tiene, además, la ventaja de ser flexible, lo que se aprovecha en

Escaneado con CamScanner

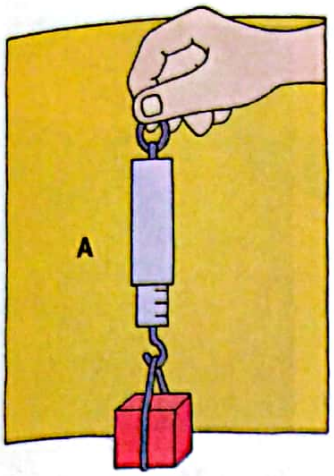


Fig. 3.31

el empleo de las poleas.

La polea introduce una curvatura en la cuerda, de modo que la fuerza transmitida por ésta cambia de dirección.

Así, con ayuda de una polea, la fuerza requerida puede ser aplicada en otro lugar y en otra dirección.

Generalmente, la polea es una rueda que puede girar con poco roce en torno a su eje.

Pero no es indispensable que sea una rueda. Cualquier objeto redondeado –por ejemplo, la rama de un árbol– puede hacer las veces de polea.

Un par de sencillos experimentos permitirán familiarizarnos con las poleas y algunas de sus propiedades.

EXPERIMENTO 1

MAGNITUD DE LA FUERZA NECESARIA EN EL CASO DE UNA POLEA

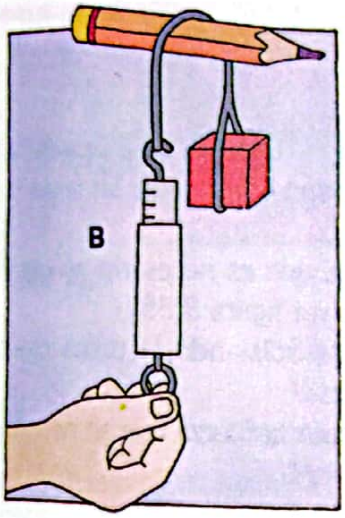


Fig. 3.32

Sabemos que la polea permite modificar la dirección y el lugar de aplicación de una fuerza. Con ayuda de un dinamómetro, podemos estudiar ahora lo que sucede con la magnitud de la fuerza.

a) Mide, con ayuda del dinamómetro, la fuerza que es necesario aplicar al objeto para mantenerlo suspendido a cierta altura (figura 3.31).

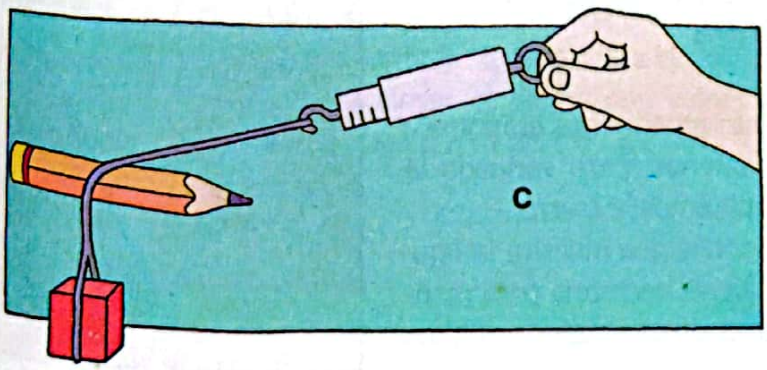
b) Mide ahora la fuerza que necesita aplicar utilizando un lápiz a modo de polea, tal como se ilustra en la figura 3.32. (Atención: no olvides que cada vez que cambies la dirección en que se utilizará el dinamómetro, debes volver a calibrar el cero del instrumento.)

c) ¿Qué modificaciones ha introducido nuestra polea a la fuerza que se necesita para mantener suspendido el objeto?

EXPERIMENTO 2

CAMBIOS DE DIRECCIÓN DE LA FUERZA APLICADA

Fig. 3.33



a) Repite el experimento anterior, pero jalando ahora de la cuerda en dife-rentes direcciones (figura C).

b) ¿Qué conclusiones podemos extraer de los experimentos realizados?

La polea móvil

Si el eje de la polea está fijo de modo que no

Escaneado con CamScanner

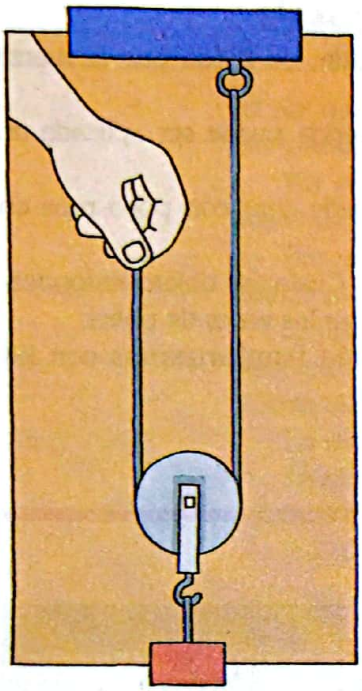


Fig. 3.34

puede desplazarse, hablamos de una polea fija. Es el caso de la polea que haz utilizado en los experimentos 1 y 2.

En cambio, si el eje de la polea puede trasladarse libremente, hablamos de una polea móvil.

Una vez más, conviene hacer notar que la polea móvil no necesita ser una rueda.

La polea móvil tiene la ventaja de que permite modificar no sólo el lugar de aplicación y la dirección de la fuerza, sino que también puede modificar su magnitud.

En los siguientes experimentos se estudian algunas características de la polea móvil.

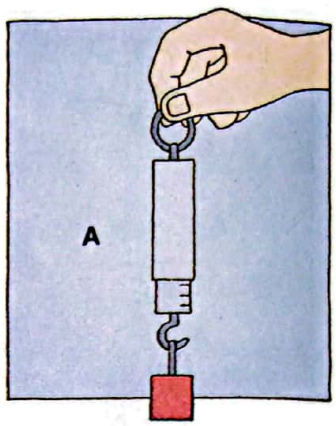


Fig. 3.35

EXPERIMENTO 3

ESTUDIO DE UNA POLEA MÓVIL

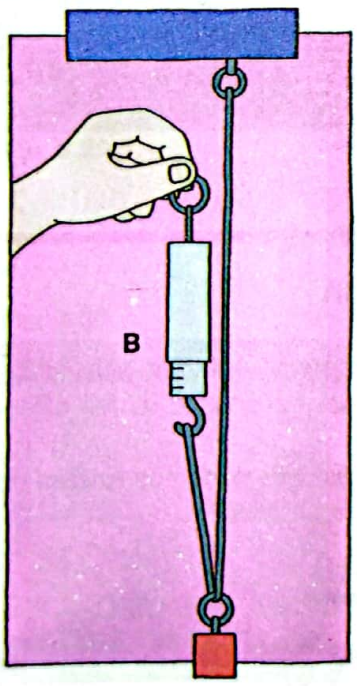
En la figura se muestra esquemáticamente un montaje experimental para estudiar el comportamiento de una polea móvil. Un simple gancho de metal hace aquí las veces de polea.

a) Mide, con ayuda del dinamómetro, la fuerza que es necesario aplicar al objeto para mantenerlo suspendido a cierta altura (ver figura 3.35).

b) Mide ahora la fuerza que necesitas aplicar utilizando la polea móvil (figura 3.36).

c) ¿Qué modificaciones ha introducido la polea a la fuerza que se necesita para mantener suspendido el objeto?

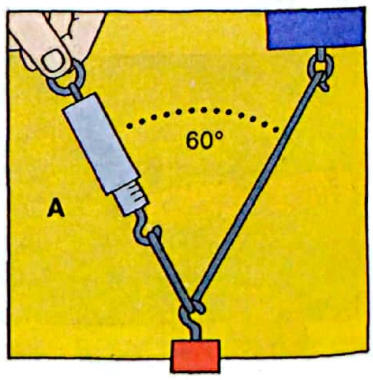
Fig. 3.36



EXPERIMENTO 4

POLEA MÓVIL: CAMBIOS DE DIRECCIÓN DE LA FUERZA APLICADA

Fig. 3.37



En este experimento repetiremos el montaje de la actividad anterior, pero variando la dirección en que aplicamos la fuerza.

a) Realiza el montaje que muestra la figura 3.37 y mide la fuerza necesaria para mantener suspendido el objeto cuando ambos

Escaneado con CamScanner

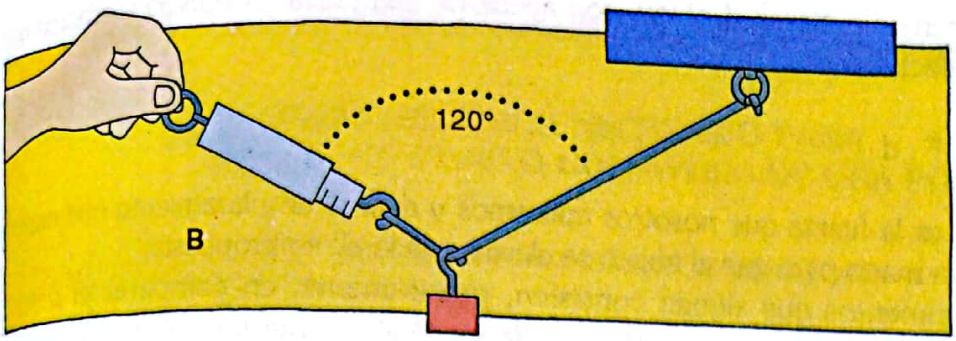


Fig. 3.38

a los 180° (figura 3.39).

d) Haz un breve resumen de los resultados obtenidos en tus diferentes experimentos con la polea móvil.

La polea, ¿permite ahorrar energía?

La polea fija permite variar el lugar donde se aplica la fuerza y la dirección en que necesito aplicarla. Pero no varía la magnitud de la fuerza requerida.

En el caso de la polea móvil, sin embargo, estamos ante una situación diferente.

Esta vez, no sólo ha sido posible variar el punto de aplicación y la dirección de la fuerza que se necesita aplicar, sino que también ha variado su magnitud.

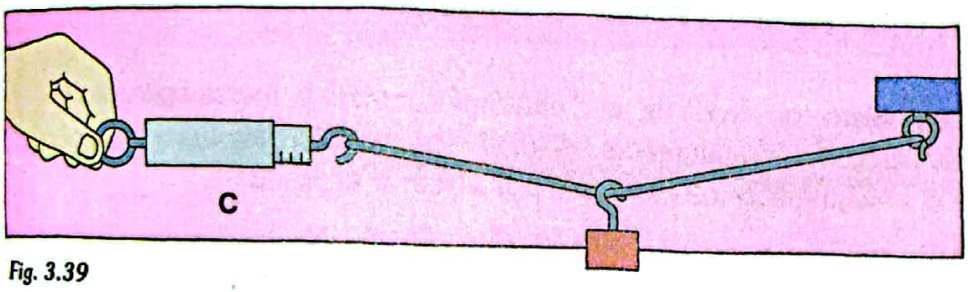


Fig. 3.39

En el caso analizado en el experimento 3, para sostener el objeto he requerido aplicar una fuerza que es aproximadamente la mitad del peso del objeto.

Es decir, estoy realizando la misma tarea –sostener el objeto– aplicando una fuerza mucho menor.

La polea móvil permite ahorrar fuerza.

Esto no entra en contradicción con ninguna ley física anterior, ya que no existe una ley de conservación de la fuerza.

Pero, ¿qué pasa con la energía?

La polea móvil, ¿permitirá también ahorrar energía?

Si la respuesta fuera afirmativa, estaríamos ante la necesidad de revisar nuestra ley de conservación de la energía. Y eso sería grave.

Para salir de dudas, lo mejor es efectuar un par de experimentos que nos den claridad acerca de este punto.

Comenzaremos determinando el trabajo mecánico que es necesario aplicar para elevar un objeto con ayuda de una polea fija.

Supongamos que se desea elevar, en una altura h, un objeto cuyo peso es P.

Para elevar el objeto con velocidad constante, necesitamos aplicar sobre él una fuerza F igual a su peso P. De modo que el trabajo mecánico que debo efectuar sobre él será:

$$W = F \cdot d$$

$$= P \cdot h$$

Escaneado con CamScanner

Si procedemos a elevar el objeto con ayuda de una polea, el trabajo mecánico que deberemos efectuar será:

$$W = F \cdot d$$

en que F es la fuerza que nosotros aplicamos y d es el desplazamiento que experimenta nuestra mano para que el objeto se eleve hasta la altura propuesta.

Los experimentos que siguen consisten, precisamente, en comparar el trabajo mecánico que es necesario efectuar para elevar directamente un objeto y el trabajo mecánico que es necesario efectuar para elevar el objeto con ayuda de una polea.

EXPERIMENTO 5

TRABAJO MECÁNICO NECESARIO PARA ELEVAR UN OBJETO SIN AYUDA DE POLEAS

a) Sostén un objeto con ayuda de un dinamómetro. Mide la fuerza aplicada.
b) Eleva el cuerpo 0,1 m lentamente. ¿Varía la fuerza aplicada?
c) Calcula el trabajo mecánico efectuado por la fuerza aplicada.

EXPERIMENTO 6

TRABAJO MECÁNICO NECESARIO PARA ELEVAR UN OBJETO CON AYUDA DE UNA POLEA FIJA

a) Haz un montaje similar al del experimento 1. Mide la fuerza que es necesario aplicar para sostener el objeto con ayuda de la polea.

b) Ahora, con ayuda de la polea, procede a elevar lentamente el cuerpo 0,1 m. ¿Varía la fuerza aplicada?

c) Repite el experimento, pero ahora mide cuidadosamente el desplazamiento que debió efectuar tu mano para que el cuerpo se elevara 0,1 m.

d) Calcula el trabajo mecánico efectuado por la fuerza aplicada por tu mano.

e) Compara este valor con el obtenido en el experimento anterior. ¿Qué conclusión extraes de este experimento?

f) Compara tu conclusión con la de tus compañeros.

Escaneado con CamScanner

EXPERIMENTO 7

TRABAJO MECÁNICO NECESARIO PARA ELEVAR UN OBJETO CON AYUDA DE UNA POLEA MÓVIL

Este experimento es similar al anterior, pero ahora utilizaremos una polea móvil para elevar el objeto.

a) Haz un montaje similar al del experimento 3. Mide la fuerza que es necesario aplicar para sostener el objeto con ayuda de la polea móvil.

b) Ahora, con ayuda de la polea, procede a elevar lentamente el cuerpo 0,1 m . ¿Varía la fuerza aplicada?

c) Repite el experimento, pero ahora mide cuidadosamente el desplazamiento que debió efectuar tu mano para que el cuerpo se elevara 0,1 m.

d) Calcula el trabajo mecánico efectuado por la fuerza aplicada por tu mano.

e) Compara este valor con los obtenidos en los experimentos 5 y 6. ¿Qué conclusión extraes?

f) Compara tu conclusión con la de tus compañeros.

Modificando fuerzas con ayuda de palancas

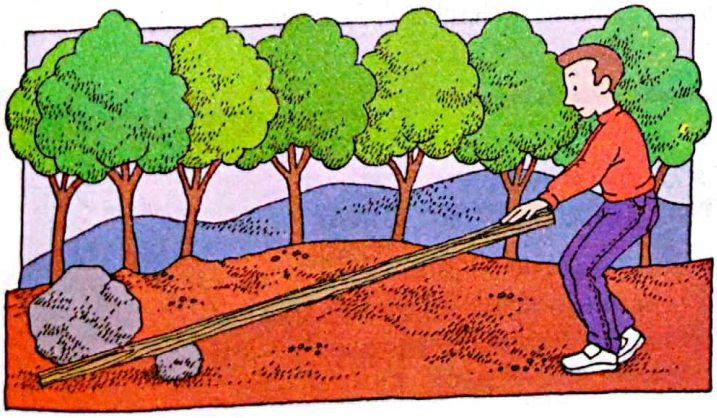
En Primer Grado tuvimos oportunidad de conocer otro dispositivo de gran utilidad para modificar fuerzas: la "palanca".

Como vimos entonces, cualquier barra rígida puede ser usada como palanca, a condición de que pueda girar en torno a un eje.

Con ayuda de una palanca podemos modificar tanto la dirección como la magnitud de la fuerza aplicada por nosotros para realizar una tarea dada.

Actividades

Fig. 3.40



1. Las figuras muestran diferentes dispositivos utilizados comúnmente a modo de palancas. En cada caso:

a) identifica el centro de giro, es decir, el punto en torno al cual gira la palanca;

b) dibuja el vector que representa la fuerza que nosotros aplicamos sobre la palanca, y

c) dibuja la fuerza que la palanca aplica sobre el objeto en cuestión.

2. ¿En cuáles de los casos analizados la palanca permite una modificación de la dirección de la fuerza?

Escaneado con CamScanner

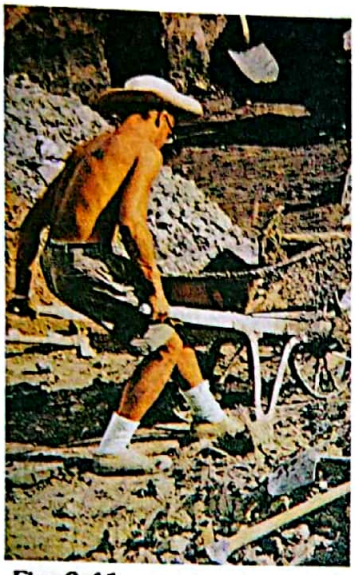


Fig. 3.41

Palancas en nuestro cuerpo

Los músculos sólo pueden aplicar fuerza al contraerse. Es decir, únicamente pueden aplicar fuerzas de tracción.

En otras palabras, un músculo puede jalar del hueso al que está fijo, pero no puede empujarlo.

Esta es una limitación bastante grande. Pero la sabia naturaleza supera tal limitación mediante un ingenioso uso de las palancas, tal como podrás comprobar si respondes las preguntas que se plantean en las siguientes actividades.

Actividades

1. La figura muestra esquemáticamente el lugar en que se insertan los músculos destinados a accionar el antebrazo cuando se desea jalar un objeto hacia sí.

a) Identifica el punto en torno al cual gira el hueso que hace de palanca.

b) Dibuja el vector que representa la fuerza que aplica el músculo.

c) Dibuja el vector que representa la fuerza aplicada por la mano sobre el objeto.

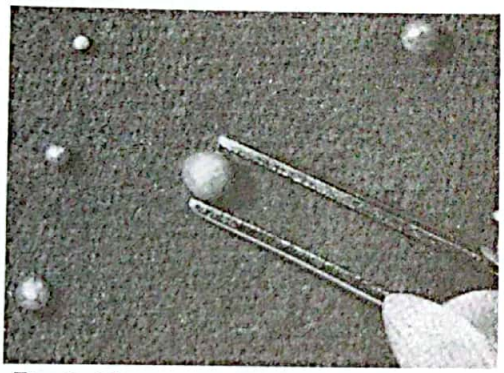


Fig. 3.42

2. La figura muestra ahora el lugar en que se insertan los músculos destinados a accionar el antebrazo cuando se desea empujar un objeto alejándolo.

a) Identifica el punto en torno al cual gira el hueso que hace de palanca.

b) Dibuja el vector que representa la fuerza que aplica el músculo.

c) Dibuja el vector que representa la fuerza aplicada por la mano sobre el objeto.

3. ¿Qué solución ha encontrado la Naturaleza para que la mano pueda aplicar fuerzas tanto para jalar objetos como para empujarlos?

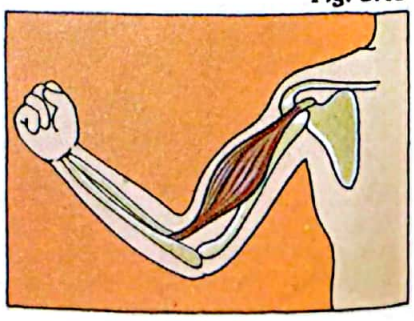
La gran utilidad de las palancas estriba en que ellas permiten transformar ya sea la dirección o la magnitud de la fuerza que se requiere aplicar para realizar una tarea dada.

Los experimentos siguientes te darán mayor claridad al respecto.

EXPERIMENTO 8

RELACIÓN ENTRE LA FUERZA APLICADA Y LA DISTANCIA AL CENTRO DE GIRO EN UNA PALANCA

Fig. 3.43



Realiza el montaje que muestra la figura.

a) Mide la fuerza que es necesario aplicar para

Escaneado con CamScanner

mantener el equilibrio para una distancia d = 10 cm .
b) Repite la medición para una distancia d = 20 cm .
c) Repite la medición para una distancia d = 5 cm .

EXPERIMENTO 9

RELACIÓN ENTRE LA FUERZA APLICADA Y LA DISTANCIA AL CENTRO DE GIRO EN UNA PALANCA

Repite las mediciones del experimento anterior, pero esta vez ubica la pesa a sólo 5 cm del centro de giro.

En una palanca, entre la magnitud de las fuerzas en juego y sus respectivas distancias al centro de giro existe la siguiente relación matemática:

Relación entre las fuerzas en juego y sus distancias al centro de giro en una palanca

En toda palanca, se cumple la relación:

F1 . d1 = F2 . d2

En esta ecuación, el primer miembro se refiere a la acción que la palanca ejerce sobre el objeto:
F1 es la fuerza que la palanca ejerce sobre el objeto, y
d1 es la distancia entre el objeto y el punto de giro.

A su vez, el segundo miembro se refiere a la acción que nosotros ejercemos sobre la palanca:
F2 es la fuerza que nosotros aplicamos sobre la palanca ,y
d2 es la distancia entre el punto de aplicación de esta fuerza y el punto de giro.

Actividades

1. Verifica si los valores obtenidos en los experimentos 8 y 9 concuerdan en forma relativamente aceptable con la ecuación dada en el recuadro.

2. Resume brevemente las ventajas del uso de palancas e ilustra con ejemplos extraídos de la vida diaria.

Escaneado con CamScanner

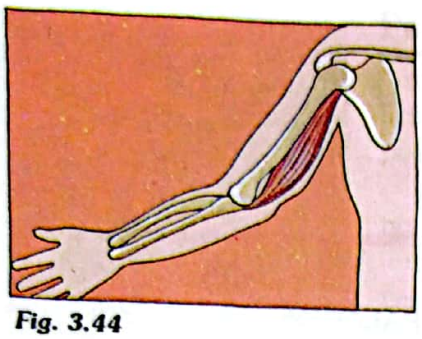


Fig. 3.44

3. La señora Claudina es muy práctica para sus cosas. Afirma que, para elevar un objeto con ayuda de una palanca, se requiere tanta o más energía que para hacerlo directamente sin ayuda de la palanca. ¿Estás de acuerdo con ella? Diseña y realiza un experimetno que te permita ratificar o rectificar la opinión de la señora Claudina.

TRABAJO MECÁNICO REALIZADO CON AYUDA DE MÁQUINAS SIMPLES

En las páginas anteriores hemos visto algunos ejemplos de cómo las máquinas simples nos facilitan la vida.

Lo hacen, permitiéndonos modificar la fuerza que se requiere aplicar para realizar una determinada labor.

Así, mediante el empleo de una máquina simple, podremos aplicar una fuerza en un lugar diferente, en una dirección diferente o, incluso, con una magnitud diferente.

De este modo, las máquinas simples permiten adaptar a nuestras posibilidades los requerimientos de la labor a realizar.

Sin embargo, tal como pudiste comprobar experimentalmente, las máquinas simples no nos permiten ahorrar energía.

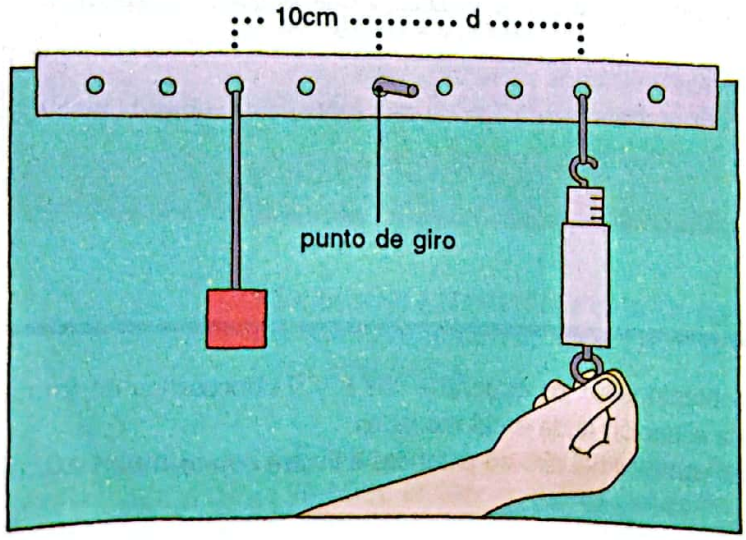
Supongamos que queremos elevar un objeto de 200 N de peso hasta una altura de 0.4 m.

Esta tarea requiere efectuar sobre el objeto un determinado trabajo mecánico, que llamaremos W útil .

Este trabajo mecánico vale:

$$W_{útil} = F \cdot d = 200 \cdot 0.4 = 80\ J.$$

Fig. 3.45



Pues bien, independientemente del dispositivo que yo utilice para realizar esta tarea, siempre deberé efectuar un trabajo mecánico de, por lo menos, 80 J.

Así, por ejemplo, se deberá utilizar una polea móvil, podrá elevar el objeto aplicando una fuerza de sólo 100 N. Pero se debe jalar de la cuerda a lo largo de 0.8 m.

El trabajo mecánico W aplicado realizado por la fuerza aplicada es, entonces:

$$W_{aplicado} = F \cdot d = 100 \cdot 0.8 = 80\ J.$$

Es decir, lo que ahorré en fuerza debo pagarlo en distancia recorrida.

Escaneado con CamScanner

Trabajo mecánico necesario para realizar una tarea con ayuda de una máquina simple

En el empleo de máuinas simples, se cumple la relación:

W aplicado = W útil + W pérdida

En esta ecuación:
Waplicado representa el trabajo mecánico realizado por la fuerza aplicada,
Wútil representa el trabajo mecánico útil, y
Wpérdida representa las eventuales pérdidas por efectos del roce.
En el Sistema Internacional de Unidades (SI), todas estas magnitudes se miden en J.

Lo mismo sucederá si empleo una palanca en lugar de una polea.

En general, podemos establecer la siguiente ecuación:(ver cuadro siguiente página).

En realidad, esta ecuación es una consecuencia directa de la ley de conservación de la energía.

Si no se cumpliera, querría decir que podemos generar energía mediante el empleo de una máquina. Y eso está estrictamente prohibido por la ley de conservación de la energía.

En los párrafos que siguen, analizaremos diversos dispositivos a la luz de esta ecuación.

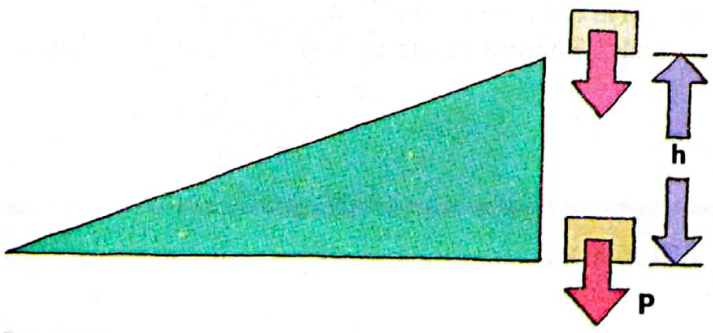


Fig. 3.46

El plano inclinado

En más de alguna ocasión, habrás podido comprobar que la fuerza que se requiere para desplazar un objeto pesado a lo largo de un plano inclinado es menor que la que se requiere para subir verticalmente el mismo objeto.

Analicemos los trabajos mecánicos que intervienen en esta situación.

- W útil

Para realizar directamente la tarea en cuestión, es decir, para elevar el objeto directamente, se requiere aplicar sobre él una fuerza hacia arriba igual a su peso.

Si el peso del objeto es P, y se desea elevarlo hasta una altura h (ver figura A), entonces el trabajo mecánico que hay que efectuar será:

Escaneado con CamScanner

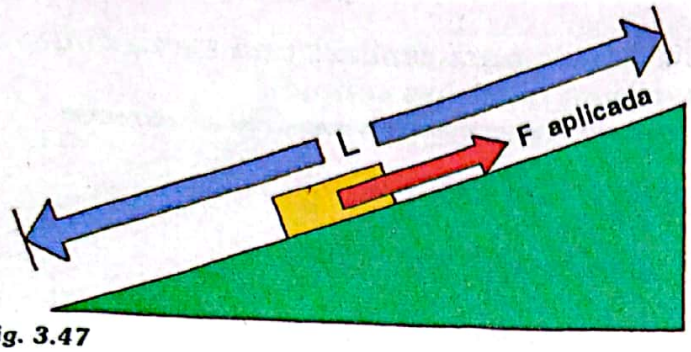


Fig. 3.47

Faplicada y desplazar el objeto a lo largo de la longitud L del plano (figura 3.47).

El trabajo mecánico que debe efectuar la fuerza aplicada será:

W aplicado = F • d
= F aplicada • L

• W pérdida

Supongamos que estamos ante una situación ideal en que el roce se ha disminuido hasta hacerlo despreciable.

En tal caso, se tendrá:

W pérdida = F • d
= 0 • L
= 0 J

Puesto que Wpérdida es cero, tendremos:

W aplicado = W útil

Es decir:

F aplicada . L = P • h

De aquí podemos deducir cuánto debe valer la fuerza aplicada:

$$F_{aplicada} = \frac{P \cdot h}{L}$$

En un plano inclinado,L siempre será mayor que h.

Por lo tanto, si el roce es despreciable, la fuerza que es necesario aplicar para elevar el cuerpo a lo largo de un plano inclinado será siempre menor que el peso del objeto.

Mientras menor sea la pendiente, menor será la fuerza necesaria.

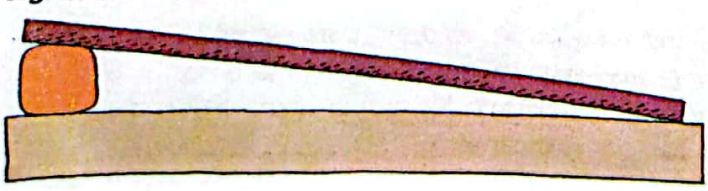
Pero, al mismo tiempo, mayor será la distancia que habrá que recorrer.

Como dijimos anteriormente, lo que se ahorra en fuerza, hay que pagarlo en distancia recorrida.

EXPERIMENTO 10

MEDICIÓN DE LA FUERZA APLICADA EN UN PLANO INCLINADO

Fig. 3.48



a) Construye un plano inclinado con ayuda de una tabla (figura 3.48) o, simplemente, mediante el recurso de elevar uno de los extremos de una mesa (figura 3.49).

b) Mide las magnitudes h y L para tu plano inclinado.

Escaneado con CamScanner

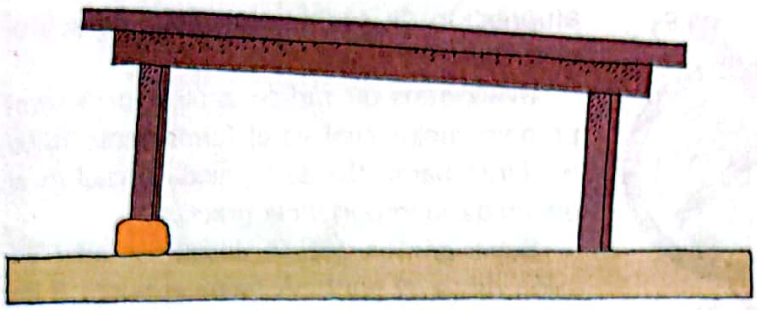


Fig. 3.49

mente, mediante el recurso de elevar uno de los extremos de una mesa (figura 3.49).

b) Mide las magnitudes h y L para tu plano inclinado.

c) Mide el peso de un objeto cualquiera.

(d) Con ayuda de la ecuación recién encontrada, haz una predicción acerca de cuánto debería valer la fuerza necesaria para desplazar dicho objeto a lo largo del plano inclinado.

e) Realiza las mediciones necesarias para verificar cuán acertada fue tu predicción.

f) Si hay discrepancias, discute con tus compañeros sus posibles causas.

La cuña y el tornillo

Seguramente, en más de una ocasión habrás utilizado una cuña para efectuar alguna tarea específica.

Si lo has hecho, habrás observado que la cuña permite realizar con una fuerza relativamente pequeña una tarea que requiere una gran fuerza.

Estamos en presencia de otra máquina simple que modifica la fuerza requerida para cumplir una labor.

Algo similar se puede decir respecto al tornillo, en sus diferentes formas.

Las actividades que siguen te permitirán analizar la situación en cada uno de estos casos.

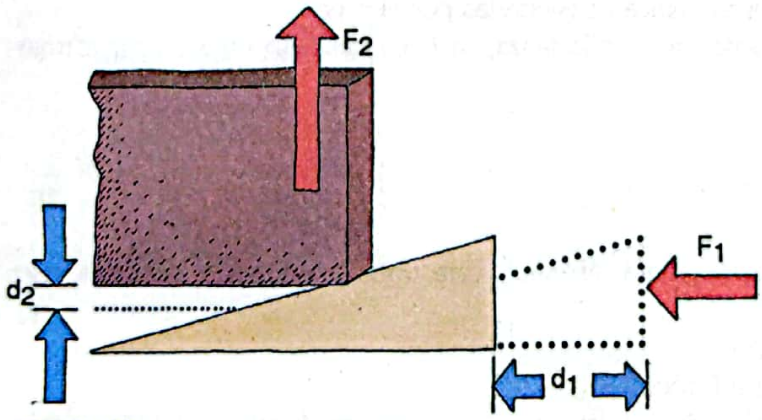


Fig. 3.50

Actividades

1. La figura muestra las principales fuerzas involucradas en el funcionamiento de una cuña, y sus respectivos desplazamientos.

Utiliza estos datos para hacer un análisis del funcionamiento de una cuña, con base en la ecuación dada anteriormente que relaciona W aplicado, W útil y W pérdida.

2. La figura muestra las principales fuerzas involucradas en el funcionamiento de un tornillo, y sus respectivos desplazamientos

Utiliza estos datos para hacer un análisis del funcionamiento del tornillo, con base en la ecuación mencionada.

La rueda

No cabe duda de que la invención de la rueda por parte de nuestros antepasados, los hombres primitivos, fue un paso de enorme trascendencia en su desarrollo y en la

Escaneado con CamScanner

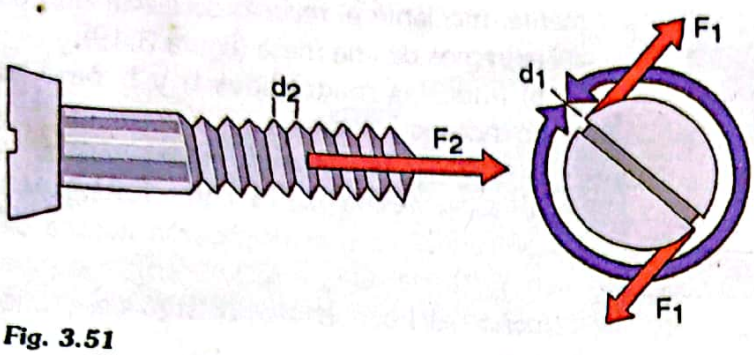


Fig. 3.51

ampliación de sus posibilidades de sobrevivencia.

Realicemos un rápido análisis para comprender mejor cuál es el fundamento físico del funcionamiento de la rueda y cuál es el origen de su importancia práctica.

Supongamos que se desea trasladar un cajón desde el punto A hasta el punto B en la figura.

Ambos puntos se encuentran a la misma altura, de modo que su energía potencial no experimentará ninguna variación.

Lo mismo sucede con la energía cinética, ya que tanto antes como después del traslado la velcoidad del cajón será cero.

De modo que podemos afirmar que, en este caso, el trabajo mecánico útil es cero:

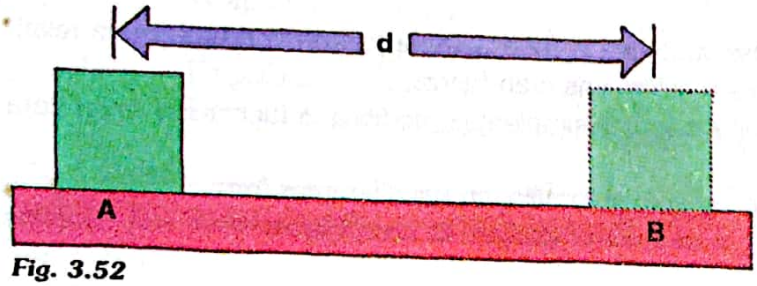


Fig. 3.52

$$W_{útil} = 0\ J.$$

Por lo tanto, nuestra ecuación queda:

$$W_{aplicado} = W_{útil} + W_{pérdida}$$
$$W_{aplicado} = 0 + W_{pérdida}$$
$$W_{aplicado} = W_{pérdida}$$

Es decir, el trabajo mecánico que efectúa la fuerza aplicada se ocupa sólo en compensar las pérdidas de energía mecánica ocasionadas por el roce.

Si deseamos aumentar la eficiencia de la tarea, se hace necesario encontrar formas de disminuir W pérdida .

Este trabajo es igual a:

$$W_{pérdida} = F_{roce} \cdot d$$

De acuerdo con esta ecuación, para disminuir este trabajo mecánico tenemos sólo dos posibilidades:

a) disminuir la distancia d , o

b) disminuir la fuerza de roce F roce.

El papel que desempeña la rueda consiste, precisamente, en disminuir drásticamente la fuerza de roce.

Toma una rueda, una vaso o cualquier cuerpo cilíndrico que no sea demasiado pequeño.

Hazlo rodar lentamente sobre la mesa y observa lo que sucede en la zona de contacto con la mesa.

Notarás que la rueda no desliza contra la superficie de la mesa, sino que va apoyando, uno tras otro, diferentes puntos de su perímetro.

Escaneado con CamScanner

NUTESA
NUEVAS TECNICAS EDUCATIVAS S.A.
República de Panamá 2197 - Lima 13

Escaneado con CamScanner

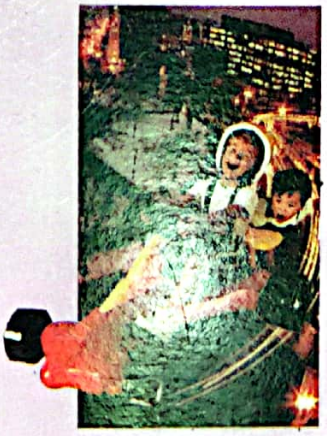
Con base en los estudios de Ciencias Naturales cursados en la escuela primaria y del curso de ***Introducción a la Física y a la Química*** en el primer año de Secundaria, el presente texto va acentuando los aspectos formales y estructurales de la disciplina, manteniendo el énfasis fundamental en la adecuada comprensión de los conceptos, leyes y esquemas teóricos, y en el desarrollo de formas de pensamiento científico.

Se avanza paulatinamente en la adquisición de un enfoque cuantitativo con aplicación creciente del lenguaje matemático en sus diversas manifestaciones. El uso de las matemáticas no lleva a una mecanización escrita de cálculos numéricos y de simple aplicación de fórmulas, sino que se va transformando en una herramienta de comunicación y de análisis de situaciones físicas.

Se pretende que el alumno, además de lograr claridad conceptual, alcance una adecuada estructuración de las ideas, con el fin de reforzar la profundidad de la comprensión de los conceptos, aumentar la retención y la transferencia, y consolidar su capacidad para resolver situaciones problemáticas.

Los autores conciben la enseñanza de las ciencias en su estrecha relación con el mundo circundante y con los fenómenos y procesos que rodean la vida cotidiana del estudiante.

Destacan las actividades y tareas que ayudan al desarrollo conceptual y a la consolidación del conocimiento. Un rol especial juegan las actividades experimentales, que el alumno puede desarrollar en el laboratorio o en su propia casa con ayuda de elementos sencillos de fácil adquisición.



ISBN 968-18-4968-X
9 789681 849689

Escaneado con CamScanner